Über die Vorgänge in Unkrauttrieuren

Von der
Technischen Hochschule zu Breslau
zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs
genehmigte

Dissertation

Vorgelegt von

Dipl.-Ing. Rudolf Gerdes
aus Berlin

Referent:
Professor Dipl.-Ing. L. Erhardt

Korreferent:
Professor Dr.-Ing. K. Heinel

Tag der mündlichen Prüfung: 9. Juni 1932

Universitätsverlag von Robert Noske in Borna-Leipzig
1932

26377

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Meinen Eltern!

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543117_0131

Vorwort.

Die vorliegende Arbeit entstand aus einer Anregung des in Breslau kürzlich verstorbenen Altmeisters der Saatgutreinigung Paul Lübke, dessen Name besonders durch seine vorbildlichen Maschinen zur Klee- und Grassamenreinigung weit über Deutschlands Grenzen hinaus bekannt ist.

Die nachfolgend untersuchte Maschinenart ist in der Literatur immer nur oberflächlich behandelt worden, am ehesten noch in den Büchern und Zeitschriften des Mühlenbaus. Übrigens teilt sie darin das Schicksal der landwirtschaftlichen Maschinen überhaupt, die erst nach dem Weltkriege aus der empirischen, mehr gefühlsmäßigen Behandlung in die wissenschaftliche Technik erhoben wurden. Und die Fabrikanten von Trieuren sind stolz auf die jeweils selbst gewonnenen Erfahrungen und hüten sie als ihr Geheimnis.

So war es erforderlich, auch die allgemeinen Grundlagen noch einmal zu ordnen und zu klären, wobei immerhin wohl auf die Literatur zurückgegriffen werden konnte. Einige Aufschlüsse bot auch der kritische Vergleich einer größeren Zahl von Werbeschriften verschiedener Firmen. Besonders wertvoll waren die vom Verfasser im Sommer 1930 auf einer Studienreise zu führenden einschlägigen Firmen in ganz Deutschland gesammelten Informationen. Hier verdient die Firma Louis Herrmann in Dresden dankende Erwähnung, die die vorliegende Arbeit durch Bereitstellung zweier Trieurringmodelle unterstützte. In den praktischen Erfahrungen des Trieurbaus beriet mich in zuvorkommender Weise Herr Ingenieur Plaumann aus Breslau, ein früherer Mitarbeiter der Firma Lübke.

Vor allem aber gebührt mein Dank meinem verehrten Chef und Lehrer, Herrn Professor Dipl.-Ing. Erhardt an der Universität und Technischen Hochschule Breslau, der mir die Durchführung der Arbeit im Rahmen der Arbeiten des Instituts für Landmaschinenkunde der Universität Breslau ermöglichte.

Breslau, im Dezember 1931.

Dipl.-Ing. Rudolf Gerdes.

Formelzeichen.

		Seite
α	= Winkelweg der Tasche	22
α_0	= Bestimmungswinkel	22
C	= Zentrifugalkraft	22
D	= Trieurdurchmesser	10
d	= Taschendurchmesser, genannt Lochung	6
G	= Gewicht des Kornes	22
g	= Erdbeschleunigung	8
i	= Winkel von Z gegen die Tangente	24
K	= die dynamische Kennziffer	22
k	= Nacheilwinkel des Kornes gegen die Tasche	32
L	= Länge des Trieurzylinders	10
M	= Mengenleistung des Trieurs	15
m	= Masse des Kornes	22
N	= Radialkomponente von Z	34
n	= Drehzahl je Minute	7
Q	= Hinweis auf das Quellenverzeichnis	47
q	= Radialbeschleunigung des Rundkornes	34
R	= Radius des Trieurs	8
r	= Radius der Kornbahn	32
s	= Weg des Kornes an der Taschenwand	34
T	= Tangentialkomponente von Z	34
t	= Teilung des Taschennetzes	5
u	= Umfangsgeschwindigkeit des Trieurs	8
w	= Winkelgeschwindigkeit des Trieurs	23
Z	= Resultierende von C und G	22
z	= Tahl der Taschen je Quatradmeter	5

Inhalt.

	Seite
Vorwort	V
Formelzeichen	VI
§ 1. Der statische Trieur	1
§ 2. Wege zur Leistungssteigerung	11
§ 3. Die Leistung der Trieure	15
§ 4. Die Aktionskräfte am Korn	22
§ 5. Der Ausfall der langen Körner	28
§ 6. Auswurfbedingungen für Rundkorn	32
§ 7. Die Versuche	37
§ 8. Besprechung der Versuchsergebnisse	41
§ 9. Zusammenfassung	44
Quellenverzeichnis	47

§ 1.

Der statische Trieur.

Dem Trieur fällt in der Getreidereinigung und -sortierung bekanntlich die Aufgabe zu, von den länglichen, spindelförmigen Körperformen der Getreidekörner Kornkörper geringerer Länge abzusondern. Die engen Grenzen seiner Wirkung bedingen, daß er nie als Reinigungsvorrichtung für sich allein auftritt. Andererseits sind keine Einrichtungen, wie der Schneckentrieur oder die Rutsche oder der Stoppelausleser, in der Lage, seine Trennarbeit mit der gleichen Genauigkeit auszuführen.

Die bei der Unkrautauslese in Frage kommenden Kurzkörner haben fast ausschließlich Kugelform oder weichen davon nur wenig durch Abplattung, Runzelung, eiförmige Längung, nierenförmige Krümmung oder dgl. bis zur kantigen Form eines Getreidekorn-Bruchstückes ab (Q 1). Mit Recht darf man daher bei den theoretischen Untersuchungen die Kugel als idealen Grenzfall der Kurzkornform in Rechnung setzen.

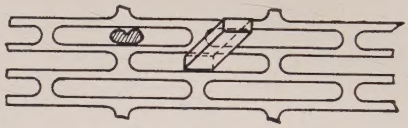
Die Größe der dem Trieur zugeführten Körner unterliegt Einschränkungen. Stets ist das Korngemisch vor Eintritt in den Trieur durch ein Sieb von 3,5, 3,75 oder 4 mm Schlitzlochung und über ein solches von 2 mm Schlitzlochung gegangen, so daß die Größe der Kugeln zwischen 2 und 3,5 bis höchstens 4 mm liegen muß (Q 2).

Die technologische Wirkung des Trieurs läßt sich als eine Abart des Siebvorganges deuten. Betrachtet man in Darst. 1 und 2 die Lesetätigkeit der Siebe je nachdem, ob sie nach der Dicke oder Breite auslesen, so liegt der Gedanke nahe, auch nach der Länge mit Sieben zu sortieren; man muß nur die Körner zwingen, mit ihrer Längsachse etwa parallel zur Ebene des Siebes zu bleiben (Darst. 3 und 4). In diesem Sinne waren denn auch die Vorläufer unserer heutigen Trieure gebaut.

Als Erfinder des Trieurs gilt der Mechaniker Vachon aus Lyon (Q 3). Er erhielt auf der Weltausstellung 1855 in Paris

einen Preis für die Konstruktion eines Trieurs und wurde dafür zum Ritter der Ehrenlegion ernannt (Q 4). Es ist jedoch wenig bekannt, daß es sich noch um einen von den späteren Konstruktionen abweichenden Vorläufer handelte, dessen Arbeitsweise aus

Darst. 1.



Darst. 2.

Darst. 3.

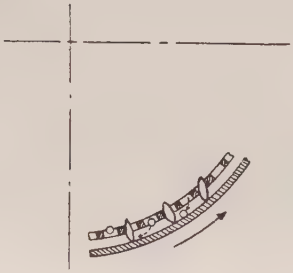
Darst. 4.

Darstellung 1—4. Arten der Sortierung nach Größenabmessungen.

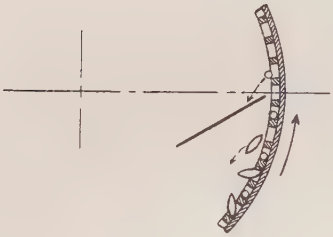
Darst. 5 ersichtlich ist. Der innere Siebzylinder hatte von dem äußeren Blechzylinder einen solchen Abstand, daß die kurzen runden Körner durch den zylindrischen Zwischenraum abrollen konnten, während die langen Getreidekörner in den Löchern des Siebes stecken blieben und beim Herumdrehen des Zylinders in sein Inneres zurückfielen. Erst später wurde dann gemäß Darst. 6 der volle Blechzylinder fest um den Siebzylinder herumgelegt und da-

mit die Grundform der heutigen Bauart geschaffen. Dieses letztere Gerät wurde auch als Tischsortierer ausgeführt (wie Darst. 4), als welcher es auch später, etwa 1870, in Deutschland unter dem Namen Hohenheimer Radeschaukel gebaut und benutzt wurde (Q 5).

Darst. 5.



Darst. 6.



Darst. 7.

Darstellung 5—7. Entwicklungsformen des Trieurs.

Da Vachon seine Erfindung nicht schützen ließ, sondern edelmütig der Allgemeinheit überließ (imaginé et généreusement aban-

donné au domaine public, Q 6), beschäftigten sich nach ihm auch die Firmen Baradeau, Lhuillier, Pernollet und Dufour mit dem Bau von Trieuren (Q 7). Besonderes Augenmerk lenkten sie auf die Formgebung der Taschen, und so entstanden schon damals zwischen 1860 und 1870 in Blech gebohrte wie auch gedrückte Zellen von konischer, pfannenförmiger und halbkugelförmiger Ausbildung.

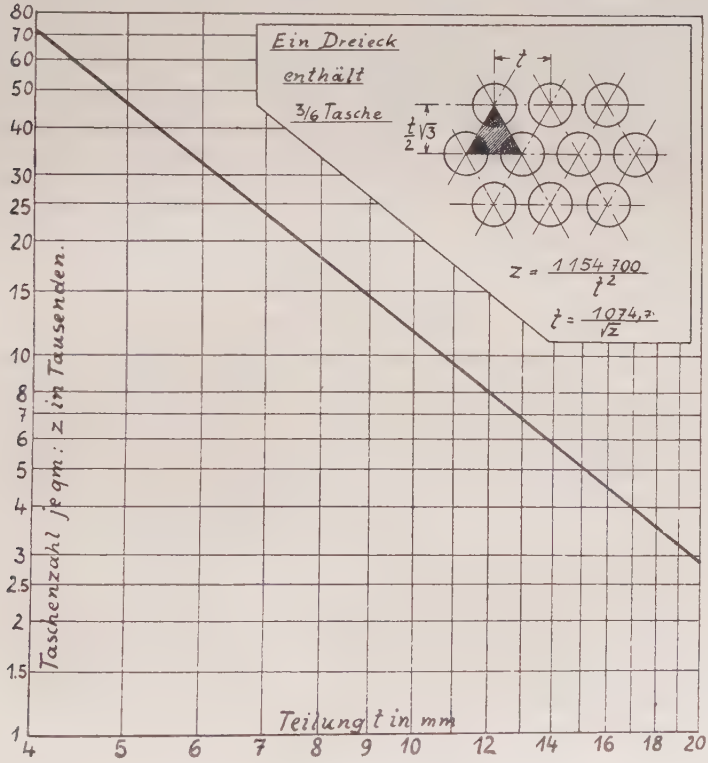
In Deutschland wurde der Vachonsche Trieur durch die Pariser Weltausstellung 1867 in weiterem Umfange bekannt (Q 3). In der Folge beschäftigten sich zunächst die Firmen Mayer & Cie in Köln-Kalk, Pieper in Mörs a. Rh. und Maschinenfabrik Heid in Manderscheid i. d. Eifel mit dem Bau solcher Trieure. Besonders letztere Firma scheint sich um die Ausbildung der Taschen zur Erzielung einer besseren Arbeit bemüht zu haben (Q 7). Nach ihren eigenen Mitteilungen ist es ihr als erster gelungen, schräg gefräste Taschen in größerem Maßstabe herzustellen. 1883 siedelte sie nach Stockerau bei Wien über, wo sie noch heute als führende Firma im Bau von Getreidereinigungsmaschinen bekannt ist. Übrigens erhielt sie im Jahre 1899 ein deutsches Reichspatent auf einen mechanisch oder galvanoplastisch auf das damals allgemein verwandte Zinkblech gebrachten Überzug aus härterem Metall (D.R.P. 100 861). Sie stellte auch noch 1910 galvanisch vernickelte Zinktrieure her. Wahrscheinlich war das Verfahren aber zu teuer, so daß diese Trieure zu keiner Verbreitung kommen konnten; jedoch sind sie ein interessanter Vorläufer der gehärteten Stahlblechtrieure von Louis Herrmann in Dresden (D.R.P. 420 891 vom 27. 9. 1924).

Die nach dem System Heid schräg gefrästen Bleche wurden in Deutschland von der Mühlenbauanstalt Seck in Dresden hergestellt, die noch vor etwa 20 Jahren in den Drucksachen ihre Trieure als System Heid bezeichnete.

Man darf jedoch sagen, daß der Mittelpunkt der Entwicklung des Trieurs für landwirtschaftliche Verwendung bei der Firma Mayer & Cie in Köln-Kalk lag, die insbesondere mit dem 1878 erstmalig patentierten maschinellen Aufbau von Trieuren nach System Krüger gute Erfolge erzielte.

Als Material für die Trieurmäntel stellte das Zink den günstigsten Kompromiß zwischen den Forderungen an Bearbeitbarkeit, Oberflächenhärte und Preis dar. Die zunächst ebenen Tafeln werden mit über ihre Breite im Abstand der Fräser verteilten Bohrungen versehen, wobei das Blech gegen die senkrecht oder geneigt stehenden Werkzeuge gehoben wird. Manche Maschinen führen

auch die Bearbeitung nicht am wagerecht liegenden, sondern am senkrecht stehenden Blech aus. Durch Längs- und Seitwärtsschaltung der Bleche wird ihre ganze Fläche mit Zellen versehen. Um eine größtmögliche Zahl von solchen unterzubringen, sind sie stets im Dreieckverband wie Bienenwaben angeordnet. Ihre Anzahl je Quadratmeter ergibt sich aus der Mittelpunktsentfernung oder Teilung nach Darst. 8.



Darstellung 8. Abhängigkeit der Taschenzahl von der Teilung (Logarithmisch)

Die Abmessungen der Mayerschen Tasche lassen sich aus den Kennlinien Darst. 9 und 10 entnehmen, die nach Messungen des Verfassers unter Vernachlässigung kleiner Unregelmäßigkeiten entworfen sind.

In dünnes Zinkblech gedrückte Zellen, bei denen ein rotierendes, flachbohrerähnliches stumpfes Werkzeug die Tasche in ein ruhendes Formfutter vortreibt, dürften heute nur noch in seltenen Ausnahmefällen zur Anwendung kommen. Lage und Abmessungen solcher Taschen stimmen weitgehend bis auf einen größeren Mittelpunktsabstand mit den gefräßten überein.

Beim Drücken und Fräsen bildet sich um die Tasche ein Grat, der durch Schaben der Tafel beseitigt wird. Durch das Schaben entsteht wiederum ein Grat, der in die Tasche vorsteht und ein gewisses „unter sich" schafft, solange die natürliche Abnutzung ihn nicht entfernt hat. Die Tafeln werden zu Zylindern gerollt und durch Löten an der Stoßstelle verbunden. Es werden Lochungen von 4 bis 12 mm, und zwar in kleineren Lochungen in Stufen von $^1/_4$ mm, für Gras- und Kleesamen bis herab zu 1 mm hergestellt. Von 8 mm an aufwärts benutzt man neben der Halbkugelform senkrecht gefräste pfannenförmige Taschen. Die meist verwendeten Lochungen in landwirtschaftlichen Unkrauttrieuren sind bei Roggen und Weizen 5,5 oder 5, bei Hafer und Gerste 6,5 mm.

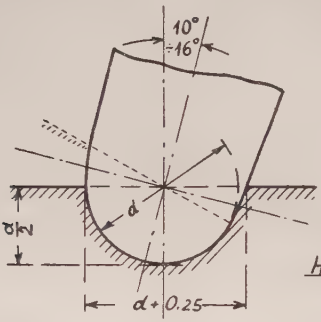
Einen bahnbrechenden Erfolg erzielte Louis Herrmann in Dresden mit seinem 1906 patentierten Verfahren (D.R.P. 188 119), nach dem er durch einen besonderen Ziehvorgang willkürlich geformte Taschen in Stahlblech treibt. Die Bedeutung des Verfahrens liegt darin, daß es den durch die früheren Herstellungsverfahren gegebenen Zwang beseitigte, den Hohlraum der Tasche als Abschnitt eines Rotationskörpers zu formen. Die Firma Mayer & Cie scheint das Verfahren in irgendeiner Form übernommen zu haben, wie auch die Taschen der Stahltrieurbleche beider Firmen gewisse Ähnlichkeiten zeigen. Immerhin scheint die Herstellung der gepreßten Stahlbleche mit geheim gehaltenen Kniffen oder Einrichtungen verbunden zu sein; sonst würde die Trieurfabrik des schweizerischen Mühlenbaukonzerns Bühler wohl kaum die Taschen aus dem vollen Stahlblech gefräst haben.

Auch für diese Blechart hat Verfasser durch Ausmessung Herrmannscher Taschen Kennlinien ermittelt (Darst. 12). Die Stoßstellen der zu Zylindern gerollten Tafeln werden hier durch Schweißen verbunden.

Ihrer charakteristischen Querschnittsform entsprechend seien die beiden heute fast allein noch handelsüblichen Taschenformen Darst. 9 und 11 als **„Halbkreistasche"** und als **„Trapeztasche"** unterschieden.

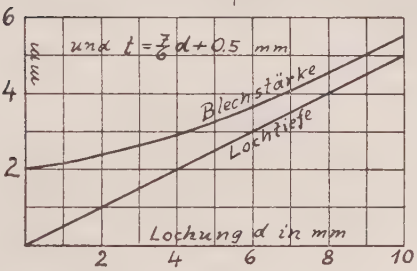
Ursprünglich wurden die Zylindertrieure mit n = 5—6 (Q 8) betrieben. Im Jahre 1880 findet man die Drehzahlen n = 16 — 13 (Q 9). Das entspricht etwa Umfangsgeschwindigkeiten von 0,25—0,35 m/sec, die um die Jahrhundertwende auf 0,3—0,4 m/sec

Darst. 9.

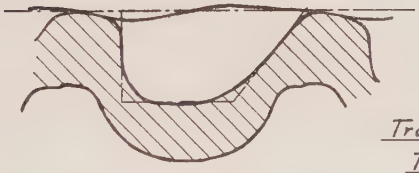


Halbkreis-Tasche

Darst. 10.

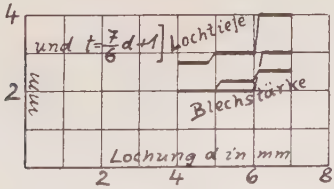


Darst. 11.



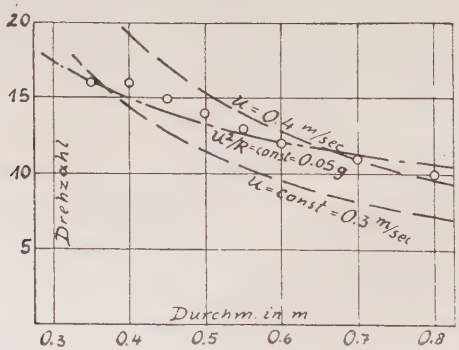
Trapez-Tasche

Darst. 12.



entsprechend einer Drehzahl n = 20 — 10 gingen. Heute findet man allgemein die Vorschrift, daß die Umfangsgeschwindigkeit her-

kömmlicher Trieure 0,3—0,4 m/sec betragen soll. In der Tat sind in den Katalogen einiger Fabriken die Drehzahlen der verschiedenen Durchmesser auf nahezu konstante Umfangsgeschwindigkeit eingestellt. Doch findet man häufiger die mehr oder weniger ausgeprägte Neigung, die kleineren Durchmesser mit langsamerer, die größeren mit schnellerer Umfangsgeschwindigkeit laufen zu lassen. Dies führt zu der bisher völlig übersehenen Tatsache, daß bei führenden Firmen, die über große Erfahrungen verfügen, nicht die Umfangsgeschwindigkeit $u = \text{const}$, sondern $\frac{u^2}{R} = \text{const.}$ ist. Dies ist in Darst. 13 an den Drehzahlen der Trieure der Braunschweiger Mühlenbauanstalt Luther (übereinstimmend mit einigen anderen) durch Vergleich derselben mit den Kurven für konstantes u und $\frac{u^2}{R}$ nachgewiesen. Praktisch wirkt sich dies darin aus, daß die Zentrifugalbeschleunigung bei verschiedenen Durchmessern konstant ist. Und zwar ist im Mittel $\frac{u^2}{R} = 0{,}05\,g$ also rund $^1/_{20}$ der Erdbeschleunigung.

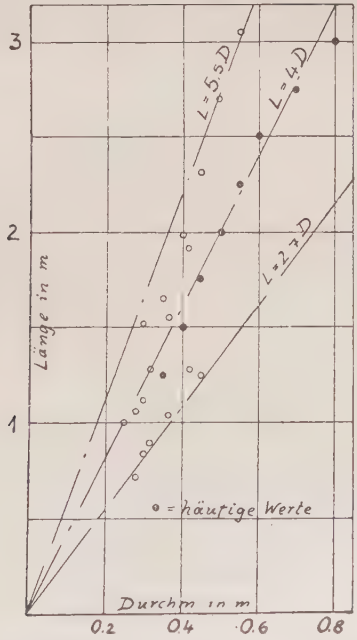


Darstellung 13. Durchmesser und Drehzahlen von statischen Trieuren.

Danach dürfte es nicht sehr abwegig sein, zu behaupten, daß die empirisch arbeitenden Praktiker des Mühlenbaues sich zunächst an die ihnen näher liegende Umfangsgeschwindigkeit gehalten haben und dann erst auf Grund ihrer Beobachtung der Vorgänge die Drehzahl unbewußt so abwandeln, daß von selbst $\frac{u^2}{R} = \text{const}$ wurde. Verfasser möchte den Gedanken ablehnen, daß

man die Trieure größeren Durchmessers deswegen mit höherer Umfangsgeschwindigkeit laufen ließ, weil sich bei u = const infolge der geringen Drehzahl Antriebs- oder Übersetzungsschwierigkeiten ergeben hätten. Vielmehr dürfte die bewußte Berücksichtigung der Zentrifugalkraft eine Erleichterung gewesen sein, wenn der Praktiker oder Reisemonteur bei der Inbetriebnahme des Trieurs, wie es oft geschieht, die Drehzahl je nach den Erfordernissen des Auslesegutes und je nach der Güte der Arbeit etwas herauf- oder herabsetzte.

Durch diese Überlegung gelangt man zu einer dynamischen Betrachtung der Vorgänge im Trieur, die bei den schnellaufenden Hochleistungstrieuren sogar breit in den Vordergrund rückt, weswegen Verfasser die Hochleister als **„dynamische“** Trieure

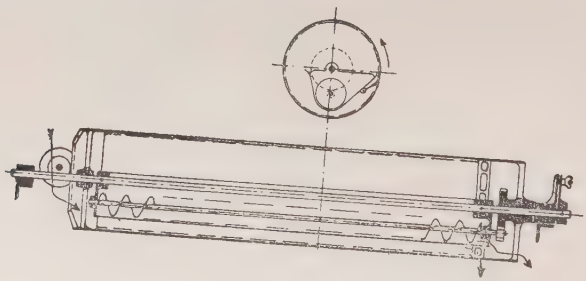


Darstellung 14. Durchmesser und Längen von statischen Trieuren.

bezeichnet. Und wenn auch, wie oben erläutert, bei den herkömmlichen langsam laufenden Trieuren die Zentrifugalbeschleunigung bereits bemerkbar wird, glaubt Verfasser diese Trieure dennoch

„statische" Trieure nennen zu dürfen, da die Zentrifugalbeschleunigung $^1/_{20}$ der Erdbeschleunigung kaum überschreitet. Die Ungenauigkeit des Ausdruckes wird durch die gut unterscheidende Kennzeichnung wett gemacht. Es wäre auch schwer, den nur der Größe nach vorhandenen Unterschied des dynamischen Einflusses anders als durch das Extrem in einem bezeichnenden Beiwort zum Ausdruck zu bringen.

Die Zylinder der herkömmlichen Trieure werden in Durchmessern von 0,25—0,8 m gebaut. Am gangbarsten sind jedoch 0,4 bis 0,6 m, in landwirtschaftlichen Trieuren auch weniger. Die Länge beträgt das 2,7-bis 5,5-fache des Durchmessers. Vorherrschend findet man für Unkrauttrieure $L = 4\,D$, wenn L die Länge und D den Durchmesser bedeutet (Darst. 14). Bei Mischfruchttrieuren und den Nachlesetrieuren der Mühlen erfordert die schwierigere Arbeit eine größere Länge. Die Leistung wird durch Nebeneinanderschalten mehrerer Trieure auf die gewünschte Höhe vervielfacht.



Darstellung 15. Schema des statischen Trieurs.

Die fast ohne Abweichung bei statischen Trieuren übliche Bauart zeigt Darst. 15. Der Mantel läuft mit je einer Nabe an jedem Ende auf der feststehenden Achse und wird durch ein Hyperboloid-Kegelrad oder einen einfach außen umgelegten Riemen angetrieben. An der stillstehenden Achse ist die Mulde befestigt, die außen angelenkt die Abstreifer trägt. Die Schnecke in der Mulde wird durch Zahnräder von der einen Mantelnabe aus angetrieben. Die Achse und mit ihr die Mulde kann in verschiedene Stellungen gedreht werden, um die Muldenkante höher oder niedriger einzustellen. Die Neigung der Zylinderachse beträgt bei Unkrauttrieuren 7—10%, bei Mischfrucht- und Nachlesetrieuren die Hälfte davon. Auf die Bedeutung dieser Neigung und im Zusammenhang damit auf die Leistung der statischen Trieure wird in § 3 besonders eingegangen werden.

§ 2.

Wege zur Leistungssteigerung.

Eine Leistungssteigerung läßt sich überall in der Technik durch Vergrößerung der Dimensionen und durch Drehzahlsteigerung (Schnellbetrieb) erzielen, so hier

1. durch Vergrößerung der Arbeitsfläche,
2. durch Erhöhung der Arbeitsgeschwindigkeit.

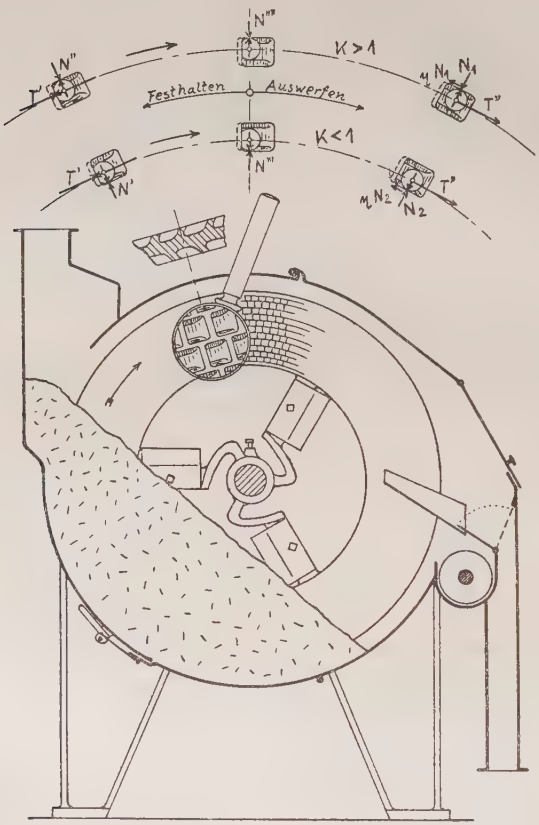
Die Vergrößerung der Arbeitsfläche ist nicht nur durch die Wahl größerer Zylinderdurchmesser und -längen, sondern auch durch andere Anordnung der vergrößerten Arbeitsflächen bei geringerer Raumbeanspruchung versucht worden. Die Arbeitsflächen werden als Scheiben, Kegel, Schaufeln, Schraubenflächen oder dgl. ausgebildet und zu mehreren in einem Arbeitssatz in gedrängter Bauart vereinigt.

Die erfolgreichste dieser Bauarten ist der Carter-Scheibentrieur, gebaut von der Carter-Mayhew-Manufacturing Co. in Minneapolis V.St.A. Als durch den Krieg die früher recht erhebliche Einfuhr vorwiegend auch deutscher Trieure nach den Vereinigten Staaten gesperrt war, war man dort gezwungen, sich in erhöhtem Maße mit der Herstellung von Trieuren zu befassen. Natürlich versuchte man auch, die sperrigen Anlagen durch Leistungssteigerung zu verbessern.

Die Taschen, die C. W. Carter bei seiner kühnen Bauart verwendet (D.R.P. 352 154 vom 2. 11. 1920), zeigen noch ausgeprägter als die Trapeztasche die Form eines hängenden Beutels. Die Taschen sind mit tangentialer Längsachse beiderseits in scheibenförmige Ringe eingegossen. Übrigens sind diese unverarbeitet zur Verwendung kommenden gußeisernen Ringscheiben angesichts des Gusses in einem Stück mit Nabe und Speichen, angesichts der geringen Wandstärken von vorherrschend 3 mm und angesichts dieser Gleichmäßigkeit der beiderseits eingegossenen Taschen Meisterstücke der Gießereitechnik.

Je nach Größe und Bestimmung der Maschine werden 17 bis 27 solcher Ringe von 15, 18 oder 25 Zoll äußerem Durchmesser auf einer Welle aufgefädelt und laufen in senkrechter Lage in der feststehenden zylindrischen Wanne um, wobei sich das durch die Reibung mitgenommene Getreide seinem Böschungswinkel gemäß schräg in die Wanne einlagert (Darst. 16). Mittels der an den Speichen angebrachten Flügel wird das Getreide allmählich durch

die Maschine gefördert, wobei die Durchgangsgeschwindigkeit durch Abnehmen einzelner Flügel geregelt werden kann. Durch Vereinigung von Scheiben verschiedener Lochung und Taschen-



Darstellung 16. Schema des Carter-Trieurs.

form läßt sich die Austragung verschiedenartigen Besatzes in einer Maschine vornehmen. Der Aushub einzelner Abteilungen kann nachgelesen werden, indem man ihn durch Umlegen der Überleitklappen in den Trog der Rücktransportschnecke fallen läßt, die ihn an die Einschüttstelle zurückfördert.

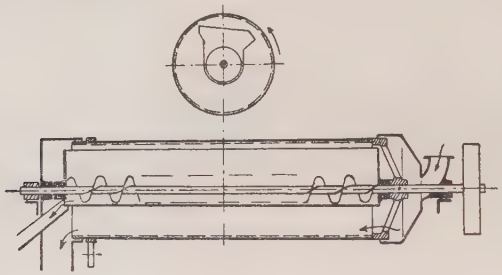
Wenig beachtet wird, daß bei der Carterschen Anordnung der Tasche die Zentrifugalkraft nicht selbst, sondern nur mit der von ihr hervorgerufenen tangentialen Reibungskomponente am Austragen des Kurzkornes beteiligt ist. Das Austragen erfolgt also fast ausschließlich durch die bei allen Umfangsgeschwindigkeiten bei gleichem Zentriwinkel gleiche tangentiale Komponente des Korngewichtes (Darst. 16). Es darf also die Zentrifugalkraft sogar größer werden als das Gewicht, was beim Zylindertrieur eine Funktion ja völlig unterbinden würde. Diese Möglichkeit hat Carter auch ausgenutzt, indem er bei seinen Trieuren Zentrifugalkräfte bis zum 1,2-fachen des Gewichtes auftreten läßt.

Die durch diese alle früheren Erwartungen übertreffende Geschwindigkeitssteigerung erzielte wesentliche Leistungserhöhung auf kleinerem Raum hat dem Cartertrieur schnell eine ungeheure Verbreitung verschafft. Die Gefahr, die hierdurch dem Absatz der einschlägigen heimischen Industrie sogar im eigenen Lande drohte und noch droht, braucht hier nicht erörtert zu werden. Für die Saatgutbereitung ist die Carter-Maschine jedenfalls weniger geeignet, weil bei dem häufigen Wechsel des Sortiergutes die in der Wanne verbleibende zur Funktion erforderliche Mindestfüllung jedesmal einen zu großen Verlust bedeuten würde. Trotzdem wird der Carter-Trieur im Handel auch für Saatgutreinigungsanlagen angeboten (Prüfungsbericht Q 10).

Es ist schwer, die Ursache zu finden, warum erst der Carter-Trieur kommen mußte, ehe man sich bemühte, auch am Zylindertrieur die Drehzahlerhöhung vorzunehmen, bei der alles bleibt wie beim statisch arbeitenden Trieur, nur daß durch den größeren Einfluß der Zentrifugalkraft die Auskippstelle höher verlegt ist. Wahrscheinlich ist es das Zusammenwirken einer Reihe von Faktoren, die vorher nicht gegeben waren (Q 11). Zunächst ging es natürlich nicht, den herkömmlichen Trieur einfach schneller laufen zu lassen, weil die Kornmasse in störendem Maße im Zylinder zu pendeln anfing. Den Anstoß dazu gaben Ungenauigkeiten der Zylinderform, wie auch die Naht, mit der die Bleche zum Zylinder geschlossen waren, was zwar bei langsamer Drehung ohne Belang war. Auch war keine reinliche Trennung von Lang- und Kurzkorn zu erzielen. Hieran war die unregelmäßige Bewegung der Taschen schuld, die sich einerseits aus den eben geschilderten Unregelmäßigkeiten der Form, andererseits aus den Erschütterungen und Stößen ergab, die bei höheren Drehzahlen an den anfänglich nach Art von Trocknertrommeln an beiden Enden von

außen auf Rollen gelagerten Zylindern auftraten. Es kann dahingestellt bleiben, ob auch Reibungserscheinungen der Ruhe und der Bewegung mitspielten. Die Art der späteren Behebung der Störungen zeigt, daß sie vor allem auf dem damals niedrigen Stande der Fertigung der Zylindermäntel beruhten.

Es ist bekannt (Q 12), wie zunächst Bunse (D.R.P. 371 641 vom 2. 5. 1922) den Samenkörper durch eintauchende Bremsflächen, seine sogen. Kulissen, ruhig zu halten versuchte, inzwischen aber von anderen allein infolge genau zylindrischer Ausführung und sorgfältiger Lagerung die Geschwindigkeit anstandslos auf die 4- bis 5-fache der früheren gebracht werden konnte.



Darstellung 17. Schema des dynamischen Trieurs.

So entstand der moderne deutsche Hochleistungstrieur, der der vorliegenden Arbeit zugrunde liegt. Die typische Anordnung eines solchen ist in Darst. 17 zu ersehen. Der Zylinder, dessen Länge das 4- bis 2-fache, seltener bis 1,5-fache des Durchmessers beträgt, ist am einen Ende auf der umlaufenden Achse, am anderen von außen auf Rollen gelagert. Die Mulde kann bei diesen Trieuren so hoch rücken, daß die Schnecke fest auf der Achse mit dieser umläuft. Vom offenen Ende des Zylinders her wird die an der Achse frei hängende Mulde (manchmal verstellbar) festgehalten. Natürlich sind auch zahlreiche andere konstruktive Lösungen der Bauart ausgeführt worden, wobei nach Möglichkeit angestrebt wurde, die drehenden Teile (Schnecke und Zylinder) an beiden Enden auf der Achse zu lagern. Die hier waagerechte Lage der Achse wird später im Zusammenhang mit der Leistung auf ihre Bedeutung untersucht werden.

§ 3.

Die Leistung der Trieure.

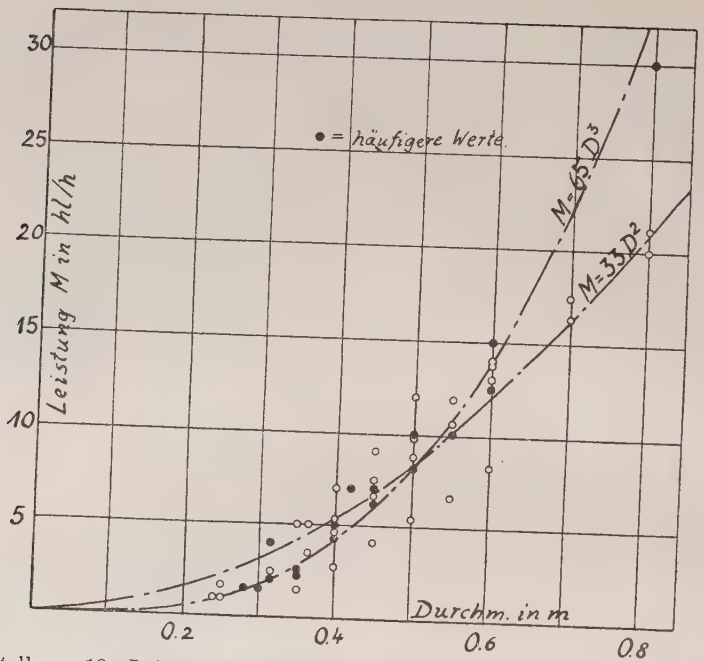
Früher wurde die Leistung der Trieure in Hektolitern je Stunde, ganz gleich um was für Gut es sich handelt, angegeben. Auch heute noch sind die Katalogangaben der Firmen auf dem Hektolitermaß aufgebaut, aber für die verschiedenen Getreidearten nach deren ungefähren Litergewicht in Kilogramm umgerechnet, und zwar findet man als Litergewichte für die Fruchtarten Weizen:Roggen:Gerste:Hafer in den Katalogen die Zahlen 80:80:65:48 oder 75:70:60:45, während die Mittelwerte eines verbreiteten landwirtschaftlichen Taschenbuches (Q 13) sich etwa auf 77:72:60:50 kg/hl stellen. Wenn in einem Katalog nur eine Zahl als Leistung in Kilogramm angegeben wird, so bezieht sie sich regelmäßig auf Weizen und Roggen und kann nach den Verhältniszahlen 5:5:4:3 auf die anderen Fruchtarten umgerechnet werden.

Wenn auch im Rahmen vorliegender Arbeit die Vorgänge des Besetzens, Umwälzens und der Kornförderung durch den Trieur nicht im einzelnen analysiert werden sollen, die die funktionelle Abhängigkeit der Leistung von den Maßzahlen und der Bauart des Trieurs klären helfen würden, so muß doch kurz auf gewisse offenbare Fehlschlüsse in den herkömmlichen Anschauungen hingewiesen werden.

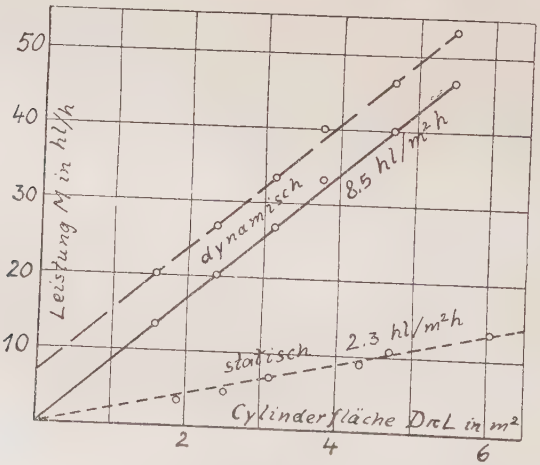
Als Faustzahl für die Leistung gibt man gewöhnlich um 210 kg/m²h an, was etwa 2,6 hl/m²h gleich welcher Getreideart entspricht. Da fast allgemein $L = 4\,D$, die Trieurfläche also 12,57 D^2 ist, wäre die Leistung $M = 33\,D^2$. Vergleicht man hiermit nun Leistungsangaben der Kataloge, die in Darst. 18 graphisch zusammengestellt sind, so ergibt die Kurve $M = 33\,D^2$ hl/h tatsächlich einen annehmbaren Mittelwert.

Würde man jedoch unbefangen aus der Katalogstatistik mittlere Funktion entnehmen wollen, so würde man etwa die Linie $65\,D^3$ erhalten, die bei $L = 4\,D$ gleichbedeutend ist mit 20,7 hl/h je Kubikmeter Rauminhalt des Trieurzylinders.

Die herkömmliche Annahme, daß die Leistung von der Mantelfläche des Trieurs bestimmt wird, hat man auch von den statischen auf die dynamischen Trieure übertragen, wie dies Darst. 19 belegt, wo die Leistungsangaben der Kataloge einer Fabrik für Mühlentrieure in Funktion der Mantelfläche aufgetragen sind.



Darstellung 18. Leistungen statischer Trieure verschiedener Durchmesser.



Darstellung 19. Leistungsangaben einer Fabrik für Mühlentrieure.

Man hat auch versucht, nicht die Trieurfläche an sich, sondern die stündlich abgewickelte Trieurfläche als maßgebend für die Leistung anzusehen. Daß man statt der Zellenzahl die Fläche setzt, wäre nicht zu beanstanden, da bei gleicher Lochung die Zellenzahl je Quadratmeter nur geringe Unterschiede aufweist. Aber die stündlich abgewickelte Fläche wäre $12{,}57\ D^2 \cdot n \cdot 60$, also proportional $D^2\,n$. Dann würde für $u = \text{const}$ n proportional $1/D$ oder M proportional D sein müssen. Für $\frac{u^2}{R} = \text{const}$ ergäbe sich n proportional $1/\sqrt{D}$, also M proportional $D^{1,5}$. Beide Ergebnisse widersprechen den statistischen Ermittlungen der Darst. 18.

Der Fehler in diesen Überlegungen ist darin zu suchen, daß die Leistung als proportional mit der Länge angenommen wurde. Denn wenn ein bestimmter Trieur ohne sonstige Änderungen doppelt so lang gemacht wird, kann er nicht gleich die doppelte Menge verarbeiten. Das Arbeitsergebnis wird nur ein besseres und vollständigeres werden. Die Längen der üblichen Unkrauttrieure sind auch normalerweise nur für einen Besatz von 2,5% Unkraut gedacht. Um bei doppelter Länge die doppelte Leistung zu erreichen, müßte man für einen doppelt so schnellen Durchgang des Kornstranges sorgen, wie man es umgekehrt bei Nachlese- und Mischfruchttrieuren macht. Diese erhalten bei gleichem Durchmesser halbe Neigung und leisten auch nur die Hälfte; dabei bleibt die Länge dieselbe, wird eher sogar noch etwas größer genommen, um ein saubereres Arbeitsergebnis zu erzielen.

Hierdurch gelangt man zu der richtigeren hydraulisch-volumetrischen Betrachtung des fließenden Körnerstromes, in welcher die Leistung als das Produkt aus dem Querschnitt des Getreidekörpers und seiner mittleren axialen Strömungsgeschwindigkeit erscheint. Durch sie gewinnt auch die Leistungsangabe in Hektoliter gleich welcher Getreideart sowie die Beziehung der Leistung zum Rauminhalt eine innere Bedeutung. Querschnitt und Strömungsgeschwindigkeit zeigen sich nun abhängig von einer Reihe baulicher Kennzeichen der Trieure, die nachfolgend ihrer Art nach betrachtet werden sollen.

Damit die dem Trieur zugeführte Getreidemenge durch ihn hindurchfließt, muß die Trieurfläche bewegt werden. Man könnte sie z. B. drehen oder, wenn man von den dadurch erreichten Nebenwirkungen absieht, schütteln. Da die Drehung sowieso zum Ausheben des Besatzes benötigt wird, begnügt man sich fast durchweg mit der Drehung.

Bei stillstehendem Trieur würde sich das Getreide in dem durch seine Reibungsziffer der Ruhe gegebenen Böschungswinkel lagern, der in der Nähe von 35° (Q 18) liegt, aber nicht durch den Zylinder fließen. Hierzu ist vielmehr ein ständiges Umwälzen des Getreidekörpers erforderlich. Dieses entsteht dadurch, daß die an der Wand des Zylinders liegenden Körner von dieser bei der Drehung mitgenommen werden, während sie auf der Oberseite des dadurch schräg liegenden Samenkörpers zurückrieseln. Auch wenn der Reibungskoeffizient Korn gegen Wand nicht größer ist als bei Korn gegen Korn, wird der das Umwälzen herbeiführende Unterschied der Gleit- und teilweise auch Rollwiderstände dennoch entstehen, weil die Körner an der Wand durch den aus Gewicht und Zentrifugalkraft entstehenden Druck des Getreidekörpers an die Wand angedrückt werden, während sie auf der Oberseite loser aufeinander liegen. Bei alledem handelt es sich um Reibung der Bewegung, soweit nicht die Körner an der Wand schlupffrei mitgenommen werden.

Bei höheren Drehzahlen werden die der Wand nahen Körner infolge des stärkeren Andruckes durch die Zentrifugalkraft energischer hochgerissen, um teils geworfen, teils spritzend auf das Getreidepolster zurückzufallen. Allerdings nehmen die Körner nach dem Innern des Polsters zu immer weniger an der Mantelgeschwindigkeit teil. Dort bildet sich eine dem Mantel etwa äquidistante neutrale Linie, unterhalb deren die Körner aufwärts wandern, während darüber eine gleiche Menge zurückströmt.

Die Umwälzung des Getreidepolsters bedeutet nun gleichzeitig eine Mischung desselben, wodurch mit der Zeit alle Körner ein oder mehrere Male in Berührung mit den Zellen kommen, die dann die kürzeren Körner ausheben. Mit diesem Mischvorgang hat sich Wansart (Q 14) bei der Untersuchung zylindrischer Trockenbeiztrommeln beschäftigt, allerdings unter Verzicht auf Verfolgung der Wege bestimmter Körner im Polster. Dort handelt es sich übrigens um wesentlich größere Füllungsgrade, wenn unter Füllungsgrad das Verhältnis der Querschnittsfläche des ruhenden Getreidekörpers zu der des Trieurzylinders bezeichnet wird. Ob der Mischvorgang beim Umwälzen durch die neuerdings (Q 15) von der Trieurfabrik Mayer vorgeschlagene, im Samenkörper wühlende Rührwelle verbessert werden kann, wäre noch nachzuprüfen.

Bei einem gut runden und sicher gelagerten Trieurzylinder bleibt das sich wälzende Kornpolster bei gleichbleibender Drehzahl an seinem Orte in einem Beharrungszustande liegen.

Daher ist es berechtigt, wenn man die in der Frühzeit der Hochleister aufgetretenen Pendelungen des Kornkörpers nicht auf Schwingungen zwischen verschiedenen Reibungszuständen, sondern auf Störungen des Beharrungszustandes durch Ungenauigkeiten der Zylinderform und Stöße infolge mangelhafter Lagerung zurückführt.

Dadurch, daß sich die Körner nun in einer ständigen Relativbewegung zueinander in Richtung der Drehung befinden, genügt eine geringe quer dazu wirkende Kraft, um die Körner von ihrer Bewegung abzulenken. Beim geneigt liegenden, statischen Trieur tritt als Querkraft die parallel zur Zylinderachse gerichtete Komponente der Schwerkraft auf, die eine Komponente der Kornbewegung in Richtung der geneigten Zylinderachse erzeugt. Dabei müssen sich nach dem bekannten Zerlegungsgesetz der Reibung die axiale Komponente der Reibung (d.h. des Gleit- und Rollwiderstandes) zur queraxialen verhalten wie die entsprechenden Geschwindigkeitskomponenten. Aus dieser Bedingung und der axial beschleunigend wirkenden Differenz zwischen den axialen Komponenten von Schwerkraft und Reibungswiderstand bildet sich ein (wenn auch an verschiedenen Punkten des Polsters verschiedener) Gleichgewichtszustand, der ein allmähliches Fließen des Kornstranges seiner Umwälzung überlagert.

Je höher die Drehzahl ist, um so rascher fließt auch der Kornstrang axial. Denn wenn auch die Schwerkraft gleich bleibt, während der Reibungswiderstand infolge des größeren Druckes der Zentrifugalkraft zunimmt, so tritt letztere Zunahme nur in den der Wand nahen Körnern auf, die die höhere Umfangsgeschwindigkeit mitmachen. Überhaupt dürften die mit der Wand reibungsmäßig mehr oder weniger gekoppelten Körner an dem durch die Schwerkraft bedingten Fließen geringeren Anteil haben als die auf der Oberseite zurückströmenden.

Dagegen bewegen sich die mit der Wand gekoppelten Körner beim geneigten Trieur dadurch dem Auslaufende zu, daß sie eben durch diese Neigung schräg nach oben genommen werden, um dann in der eben geschilderten Weise zurückzuströmen, wenn sie nicht gar bei höheren Drehzahlen durch den schrägen Wurf der mitreißenden Wand in der Richtung zum Auslaufende geworfen werden.

Durch das Zusammenwirken dieser Umstände würde bei schnellaufenden Trieuren der axiale Fluß so schnell erfolgen, daß trotz des schnelleren Umwälzens und damit schnelleren Durchsuchens sehr lange Zylinder nötig wären. Die Praxis hat sich

daher bei den Hochleistern dafür entschieden, kurze Zylinder zu nehmen und diese zur Verminderung der Durchfließgeschwindigkeit waagerecht zu legen.

Im waagerecht liegenden Trieur staut sich das in den Trieur geschickte Getreide am Einlaufende an, wodurch nach dem Auslaufende zu ein Oberflächengefälle entsteht, das wieder die Schwerkraft in einer axialen Komponente zur Wirkung kommen läßt und so für den Durchfluß sorgt.

Bei Zerlegung der Reibung in die der axialen und queraxialen Bewegung entgegengesetzten Komponenten wird die der geringen Axialgeschwindigkeit entsprechende Reibungskomponente sehr klein. Man kann dies anschaulich so ausdrücken, daß durch die Umwälzung die Reibung in die queraxiale Richtung verlegt wurde und dadurch in axialer Richtung der Zustand der Reibungslosigkeit angenähert wird.

Würde man die geringe Axialkomponente der Reibung überhaupt vernachlässigen, so kann man in grober Annäherung das Verhalten der Körner in dieser Richtung dem einer Flüssigkeit gleichsetzen, d. h. das Korn fließt im Trieur ähnlich einer Flüssigkeit in einem Kanal. An Stelle der Schwerkraftkomponente hätte man dann die durch das Gefälle gegebenen Druckdifferenzen zu setzen. Die sinngemäße Berücksichtigung dieser Auffassung könnte für die weitere Klärung dieser Vorgänge förderlich sein. In der Praxis ist diese Analogie mit einer Flüssigkeit insofern fortgeführt worden, als manche Konstrukteure Stauringe nach Art von Überfallwehren am Ende oder auch mit Abständen im Innern des Zylinders anordneten, um den Kornfluß in ihnen wünschenswert erscheinender Weise zu regeln.

Die Verlegung der Reibung in die Richtung der größeren Geschwindigkeit ist nun nicht nur zur Verminderung der axialen Reibung benutzt worden. So glaubt Neuhaus gerade den Anteil der tangentialen Reibung vermindern zu müssen, indem er eine axiale Schüttelbewegung zwischen Kornpolster und Trieurzylinder erzeugt. Hierzu sind die Achslager des Zylinders als auf Rädern rollende Wagen ausgebildet, mit Hilfe deren der Zylinder gegen das durch sein Beharrungsvermögen gebremste Kornpolster axial geschüttelt wird. Lübke will das gleiche, aber in kinematischer Umkehrung erreichen, indem er in mehreren queraxialen Ebenen Schwerter in den Samenkörper senkt, die axial geschüttelt werden und den Samenkörper in dem ortsfest laufenden Zylinder schüttelnd hin- und herschieben sollen.

Durch das axiale Schütteln geht die Hauptbewegung des Kornpolsters in axialer Richtung vor sich und die Drehung wirkt nur noch in ablenkendem Sinne. Der Einfluß der Wandung auf die Umwälzung des Kornpolsters ist also herabgesetzt. Das Ergebnis ist ähnlich dem von Bunse durch Einbau seiner Staukulissen beabsichtigten. Wenn aber so die Umwälzung des Kornpolsters herabgesetzt wird, geht das Fließen in axialer Richtung weniger leicht vor sich, so daß Neuhaus seinem Hochleistungstrieur trotz sehr kurzer Zylinder eine Neigung geben muß.

Eine etwa anzunehmende Trennung von Lang- und Kurzkorn findet durch das Schütteln offenbar wegen des geringen Unterschiedes des spezifischen Gewichtes nicht statt. Dagegen hat man für das Schütteln noch andere Begründungen angeführt. So soll ein vollständigeres Besetzen der Zellen, und zwar, da der Samenkörper die langen Körner noch innerhalb des von ihm bestrichenen Bereiches besser ausstreifen soll, in vorzüglicherem Maße mit auszuhebendem Kurzkorn erfolgen. Auch soll ein besseres Durchsuchen der Kornmasse durch die einzelnen Taschen erfolgen. Hierzu macht Neuhaus folgende Rechnung auf: Sein Trieur macht 40 Umdrehungen und 330 Schüttelperioden je Minute. Da das Samenpolster etwa $^1/_4$ des Zylinderumfanges berührt, macht dieser während des Viertelumganges währenddessen er unter dem Polster durchgezogen wird, $\frac{330}{40} \cdot \frac{1}{4}$ oder rund 2 Hin- und ebensoviel Hergänge, schneidet also eine bestimmte Mantellinie viermal. Daraus glaubt er folgern zu dürfen, daß 1 qm seines Trieurs durch das Schütteln die vierfache Leistung erhält.

Überhaupt sind über die günstigsten Vorbedingungen für ein Besetzen der Taschen, und zwar vorzugsweise mit Kurzkorn bei verschiedenen Füllungsgraden, Umfangsgeschwindigkeiten, Zellenformen usw. viele Mutmaßungen aufgestellt worden. Man geht darauf aus, die reibungsmäßige Kopplung der wandnahen Körner mit der Wand so festzumachen, daß ein ausreichendes Umwälzen und Mischen des Kornpolsters erfolgt, andererseits aber noch so viel Relativbewegung zu behalten, daß den an der Oberfläche des Polsters befindlichen Kurzkörnern Gelegenheit zum Einlagern in die Taschen gegeben wird und die Langkörner, die sich in die Taschen eingelagert haben sollten, durch die Relativbewegung des Polsters ausgestreift werden.

Wenn sich also auch die Leistung als das bloße Produkt aus dem Füllungsquerschnitt und der mittleren Axialgeschwindigkeit in diesem Querschnitt darstellt, so zeigt dieses Kapitel doch,

daß jene wiederum einer Fülle von Einflußfaktoren unterworfen sind, die teilweise auch untereinander durch ein Abhängigkeitsverhältnis verflochten sind. Leider war es im Rahmen vorliegender Arbeit nicht möglich, an die Ermittlung der hier wirkenden Gesetzmäßigkeiten heranzugehen. Vielmehr erstreckt sich die folgende Untersuchung auf die Analyse des Verhaltens der in die Taschen eingelagerten, aus dem Polster herausgehobenen Körner.

§ 4.

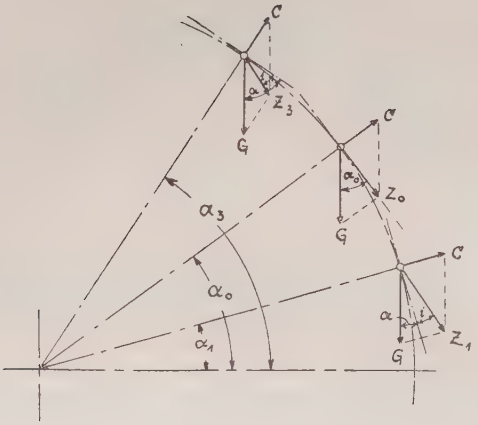
Die Aktionskräfte am Korn.

Betrachtet man das in die Tasche eingelagerte Korn als auf einer kreisförmigen Bahn gleichförmig bewegte Masse, so ist es den an seinem Schwerpunkt angreifenden Aktionskräften der Schwere und der Zentrifugalbeschleunigung unterworfen. Diese rufen an den Berührungsstellen der Kornoberfläche mit der Tasche Reaktionskräfte in Form von Auflagerdrücken nebst diesen entsprechenden Reibungskräften hervor. Es wird sich zeigen, daß es die Analyse der Reaktionskräfte außerordentlich vereinfacht, wenn man zunächst die Aktionskräfte des Gewichtes G und der Zentrifugalkraft C zu einer Resultierenden Z zusammenfaßt.

Die Zentrifugalkraft $C = \frac{u^2}{R} m$ hat zu dem Gewicht $G = m \cdot g$ bei einer bestimmten Drehzahl ein konstantes Verhältnis $\frac{u^2}{R \cdot g}$, das mit dem Buchstaben **K** bezeichnet werden möge, weil das Verhältnis K offenbar kennzeichnend für den Geschwindigkeitszustand des Trieurs ist.

Nimmt man nun in Darst. 20 die Zusammenfassung von C und G zu Z bei verschiedenen Zentriwinkeln grafisch vor, so ergibt sich aus dem Krafteck noch eine weitere Bedeutung der Größe K. Sie ist nicht nur das von der Masse unabhängige Beschleunigungenverhältnis der Zentrifugalkraft zum Gewicht, sondern auch der Sinus des mit α_0 bezeichneten Zentriwinkels, bei welchem der Winkel i zwischen Z und der Bahntangente des Schwerpunktes Null wird, d. h. Z tangential liegt. Wegen der Verbundenheit des Winkels α_0 mit der Kennziffer K sei er als **Bestimmungswinkel** bezeichnet.

Wie treffend die Größe K den dynamischen Zustand des Trieurs charakterisiert, sieht man besonders deutlich, wenn man ihre Bedeutung beim Vergleich zweier Trieure in bezug auf die



$$\sin \alpha_0 = K = \frac{C}{G} = \frac{R\,w^2}{g} = \frac{n^2}{Rg};\quad w = \pi\, n/30$$

$$K = 0{,}001\ 118\ R\,n^2 = 0{,}000\ 559\ D\,n^2$$

$$R\,n^2 = 894{,}5\ K;\quad D\,n^2 = 1789\ K$$

$$n = 29{,}91 \sqrt{K/R} = 42{,}3 \sqrt{K/D}$$

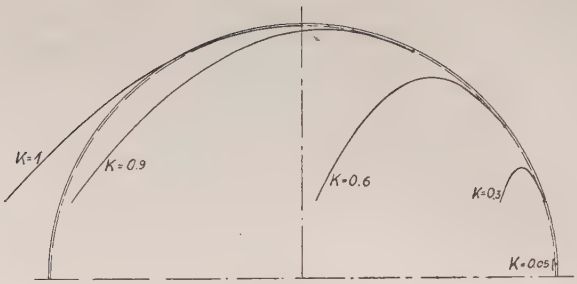
Darstellung 20. Lagenveränderung der Kräfte am Korn.

dynamische Ähnlichkeit untersucht. Nach dem Newtonschen Ähnlichkeitsgesetz müssen sich korrespondierende Beschleunigungen wie die Quadrate korrespondierender Geschwindigkeiten und die Reziproken korrespondierender Längen verhalten (Q 16). Nun ist ja

$$\frac{u^2}{R \cdot g} = K = \text{konst.}$$

Es liegt also hier das Froudesche Modellgesetz als Sonderfall des Newtonschen Ähnlichkeitsgesetzes vor, und die Größe K ist identisch mit der Froudeschen Kennzahl.

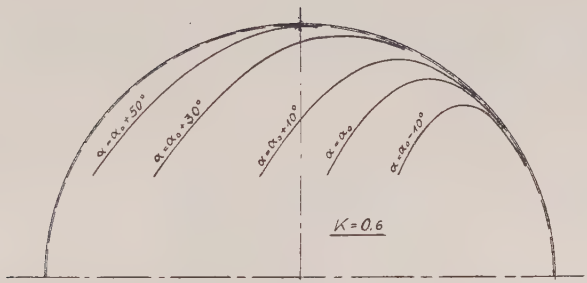
Beim statischen Trieur hat K nur den Wert 0,05, also α_0 etwa 3°. Man sollte annehmen, daß man bei den Hochleistern mit der Drehzahl so hoch geht wie möglich, d. h. ein möglichst hohes K festlegt und diesem gemäß bei allen Durchmessern die Drehzahl wählt. Jedoch trifft man z. B. eine für alle Durchmesser gleiche Drehzahl mit u = 1 — 1,4 m/sec und K = 0,45—0,68 (Bühler) oder eine gleichbleibende Umfangsgeschwindigkeit von u = 1,58 m/sec



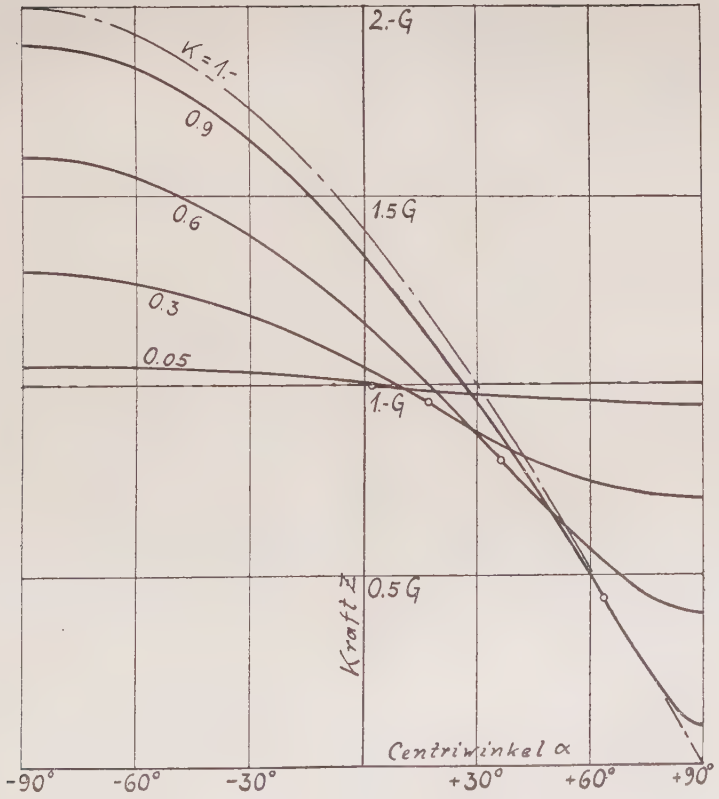
Darstellung 21. Wurfparabeln für Abwurf in α_0.

mit K = 0,76—0,56 (Miag). Wie später gezeigt wird, dürfte es vorteilhafter sein, die Trieure verschiedener Durchmesser dynamisch ähnlich zu bauen, wie es bei den statischen Trieuren praktisch bereits geschieht. Immerhin darf entnommen werden, daß die heutigen Hochleister im Mittel mit **K = 0,6** oder etwa $\alpha_0 = 37^0$ laufen. Daß man den Wert K = 1 nicht nur nicht überschreiten, sondern auch nicht ganz erreichen kann, ergibt sich aus den Flugbahnen der Kurzkörner, die in Darst. 21 und 22 in einigen Beispielen aufgezeichnet sind. Sie wurden als Wurfparabeln unter der vereinfachenden und nur einen geringen Fehler enthaltenden Annahme des tangentialen Abwurfes nach den bekannten Formeln berechnet. Darst. 21 zeigt für einige K-Werte die bei Abwurf im Moment des Durchganges durch den Bestimmungswinkel α_0 entstehenden Parabeln. Je mehr sich K dem Werte 1 nähert, um so mehr schmiegen sich die Parabeln dem Zylinder an, so daß ein Abfangen durch die Unkrautmulde nicht mehr mit Sicherheit erfolgt. In Darst. 22 ist angenommen, daß der Abwurf bei K = 0,6 nicht in α_0, sondern aus später analysierten Gründen schon 10^0 vor oder 10^0, 30^0 oder 50^0 nach α_0 erfolgt. Man sieht, daß auch bei kleinerem K ein Abfangen des Kurzkornes schwer wird, wenn der Abwurf verspätet erfolgt.

Da es wissenswert erscheint, wie groß die auf das Korn wirkende resultierende Kraft Z überhaupt ist, ist der Verlauf ihrer Größe in Darst. 23 für verschiedene Werte von K aufgezeichnet, und zwar als Vielfaches des Gewichtes. Der Winkel i, den sie jeweils mit der Tangente des Zylinders bildet, ist in Darst. 24 berechnet und aus Darst. 25 für einige K der Größe nach zu entnehmen. Die Änderung dieses Winkels, deren Größe bei späteren Berechnungen benötigt wird, ist in Darst. 24 ebenfalls formelmäßig

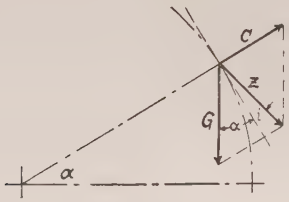


Darstellung 22. Wurfparabeln für K = 0,6 bei streuendem Abwurf.



Darstellung 23. Größe der Resultierenden Z.

ermittelt und in Darst. 26 und 27 einmal nach dem Winkelwege des Trieurzylinders und das andere Mal nach der Zeit immer wieder für dieselben beispielsweisen K-Werte aufgezeichnet.



$$\operatorname{tg} i = \frac{C - G \sin \alpha}{G \cos \alpha} = \frac{K}{\cos \alpha} - \operatorname{tg} \alpha$$

$$i = \operatorname{arc\,tg}\left(\frac{K}{\cos \alpha} - \operatorname{tg} \alpha\right)$$

$$\frac{di}{d\alpha} = \frac{K \dfrac{\sin \alpha}{\cos^2 \alpha} - \dfrac{1}{\cos^2 \alpha}}{1 + \left(\dfrac{K}{\cos \alpha} - \operatorname{tg} \alpha\right)^2}$$

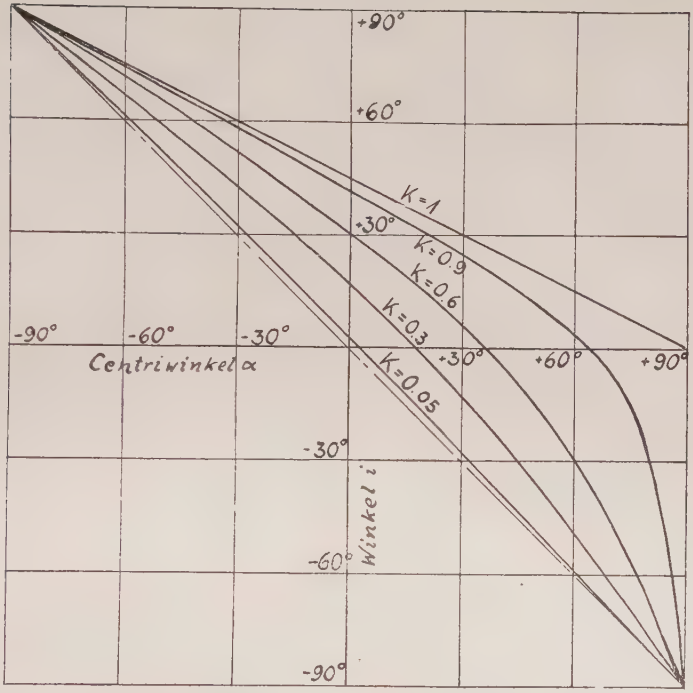
$$\frac{di}{d\alpha} = -\frac{1 - K \sin \alpha}{1 + K^2 - 2K \sin \alpha}$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{di}{d\alpha} \cdot \frac{d\alpha}{dt}; \quad \frac{d\alpha}{dt} = w = \sqrt{\frac{Kg}{R}}$$

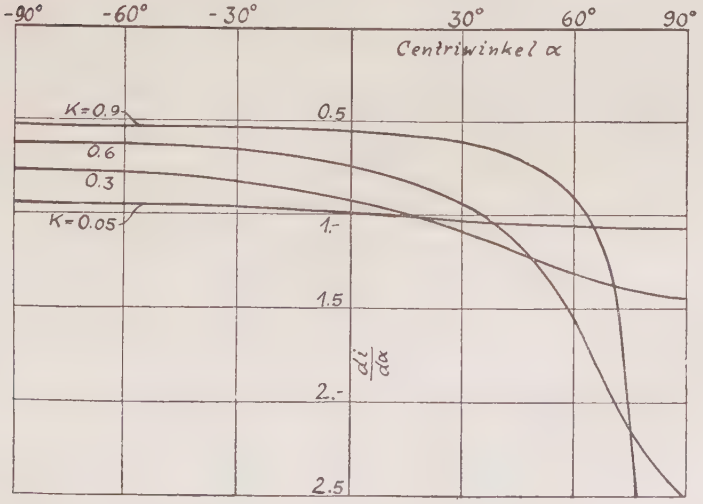
$$\frac{di}{dt} = -\sqrt{\frac{Kg}{R}} \cdot \frac{1 - K \sin \alpha}{1 + K^2 - 2K \sin \alpha}$$

Darstellung 24. Berechnung des Winkels i.

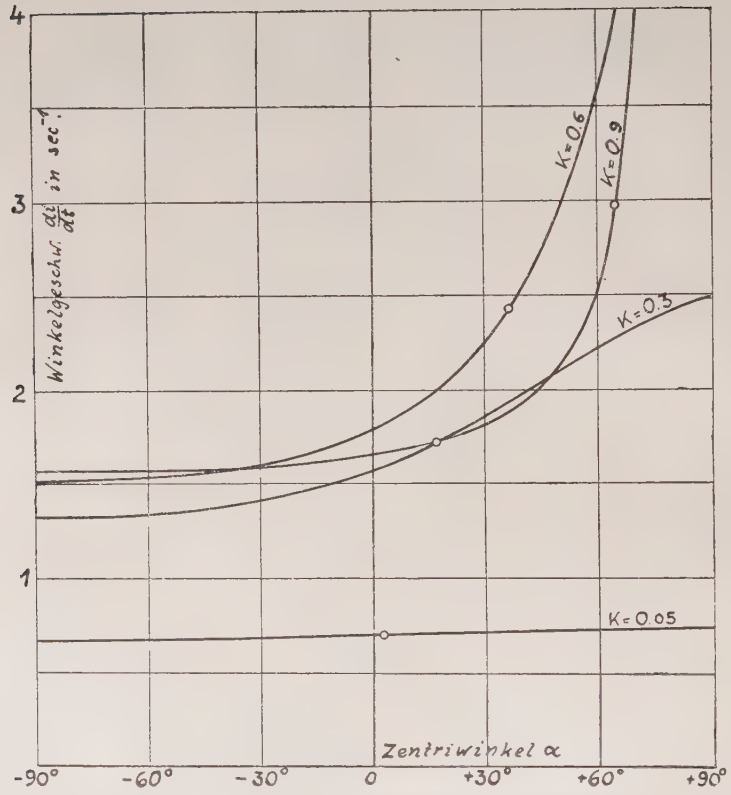
Wieweit alle diese Zusammenhänge die technologischen Vorgänge beeinflussen, soll später an Hand der Versuchsergebnisse diskutiert werden.



Darstellung 25. Größe des Winkels i.



Darstellung 26. Trieurdrehung und Winkel i.



Darstellung 27. Schwenkgeschwindigkeit der Resultierenden Z.

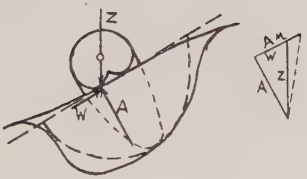
§ 5.

Der Ausfall der langen Körner.

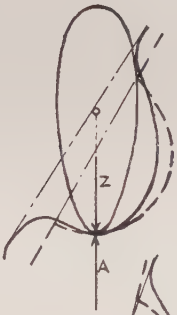
Bei der Betrachtung von Langkorn möge eine Normalform als Grundlage dienen, für die ein Roggenkorn als Vorbild gewählt wurde, weil sein eines Ende im wesentlichen kugelig wie beide Enden von Weizen, sein anderes Ende spitz ist wie die Enden von Gerste und Hafer. Die Hauptlagen des Kornes sind

1. die Querlage, d. h. quer zur Bewegungsrichtung der Tasche oder axial (Darst. 28),
2. die Stehlage, d. h. längs der Bewegungsrichtung oder tangential, und zwar vorwärts herausragend (Darst. 29),

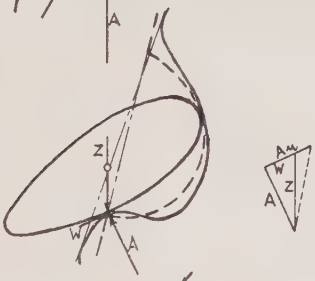
Darst. 28. Querlage



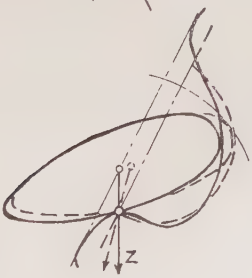
Darst. 29. Stehlage



Darst. 30. Hängelage



Darst. 31.
Taschenvergleich



Zu Darstellung 28—31:

Z = Resultierende von C und G. A = Auflagerdruck.
W = Gleitwiderstand. A μ = Reibungsgrenze.

Darstellung 28—31. Skizzen zum Langkorn-Ausfall.

3. die Hängelage, d. h. längs der Bewegungsrichtung rückwärts herausragend (Darst. 30),

wobei man wieder unterscheiden kann, ob die Spitze oder das kugelige Ende aus der Tasche herausragen. Ein Blick auf die Darstellungen belehrt jedoch, daß letzterer Unterschied keine grundsätzlichen Veränderungen bedingt.

Die Auflagerreaktionen des Kornes auf der Wandung und der Kante der Tasche können nur senkrecht auf der Berührungstangente stehen oder innerhalb des Reibungskegels zu dieser Senkrechten geneigt sein. Da die Getreidekörner im wesentlichen Rotationskörper sind, erfolgt ihre Auflage gewöhnlich in zwei Punkten, d. h. die Kräfte liegen in einer Ebene. Nur wenn das Korn seinen Einschnitt der Unterlage zuwendet, löst sich der betreffende Auflagerpunkt in zwei nebeneinanderliegende auf.

In Darst. 28 bis 30 sind die Hauptlagen des Langkornes in je einer handelsüblichen Tasche des Halbkreis- und (punktiert) des Trapeztyps bei 5,5 mm Lochung aufgezeichnet. Die senkrecht eingezeichnete Kraft ist bereits die resultierende Aktionskraft Z aus Gewicht G und Zentrifugalkraft C. Korn und Tasche sind in ihrer Lage zu Z so gezeichnet, daß sie in ihrer Drehung gerade die Stellung erreicht haben, wo der eine obere Auflagerdruck Null geworden ist, das Korn sich also im labilen Gleichgewicht befindet. Da der obere Auflagerdruck gerade verschwunden ist, ist auch keine Reibung an dieser Stelle mehr vorhanden. Und der Winkel, den der untere Auflagerdruck mit der Kraft Z im Krafteck einschließt, ist nach den experimentellen Beobachtungen kleiner als der Reibungswinkel. Infolgedessen kommt das Korn nicht zum Gleiten, sondern kippt aus, sobald sich die Tasche relativ zu Z soviel weitergedreht hat, daß die Kraft Z mit dem Auflagerdruck und seiner Reibung ein solches Drehmoment erzeugt, daß die rollende Reibung der Abwälzung des Kornes im unteren Auflagerpunkt überwunden wird. Da die rollende Reibung sehr klein ist, wird man zugleich sagen dürfen, daß es wenig ausmacht, ob das Kornende in der Tasche rund oder spitzig ist.

Der Neigungswinkel der Kraft Z gegen die strichpunktiert angedeutete Tafelebene des Trieurbleches ist der in den Formeln mit i bezeichnete Winkel. Aus Darst. 28 bis 30 kann man seine Größe im Moment des Auskippbeginns entnehmen. Aus den Kurven der Darst. 25 ergibt sich der bei dem jeweiligen K dazugehörige Zentriwinkel, d. h. die Lage des Auskippunktes. Auf diese Weise kann also die Streuung der von den Taschen aufgeschöpften Langkörner ermittelt werden. Angesichts der biologischen Verschieden-

heiten der Körner und der unumgänglichen Willkür, mit der das Korn auf der Zeichnung angeordnet wurde, wird man jedoch die ermittelten Winkelgrade nicht als genaue Zahlen, sondern nur ihrer relativen Größenordnung nach zu werten haben.

So zeigt sich die Querlage des Kornes nach Darst. 28 als diejenige, die bei geringster Neigung der Blechtafel und damit größtem Winkel i (um 60°) zu einem Herausrollen des Kornes führen muß. Beim Vergleich der Steh- und Hängelage nach Darst. 29 und 30 ergibt sich, daß die Hängelage ein weiteres Aufschwenken der Tasche (i um 15—20°) erlaubt als die Stehlage (i um 25—35°). Nun ist im Interesse der Trennung von Lang- und Kurzkorn nicht so sehr danach zu fragen, wann die Langkörner auskippen, sondern bis zu welcher Höhe und bei welcher Lage die zuletzt ausfallenden Langkörner hochgetragen werden. Hierfür sind aber gemäß vorstehender Ableitung nur die in Hängelage befindlichen Körner maßgebend.

Daß die Körner sich auch in Wirklichkeit so verhalten, wurde durch Beobachtung am ganz langsam gedrehten Trieurzylinder und durch Vorversuche mit Trieurblechtafeln und vergrößerten Holzmodellen nachgeprüft. Die Beobachtungen bei langsamer Drehung lassen sich insofern verallgemeinern, als bei stabiler Lage des Kornes die statischen Momentanzustände dieselben sind wie bei schnellerer Drehung, nur daß an Stelle der resultierenden Aktionskraft Z das Gewicht G allein steht. Hierbei wurde auch festgestellt, daß die Stehlage recht wenig stabil ist. Meist kippt das Korn nach der Seite und rollt durch die Querlage hindurch aus der Tasche heraus, bevor es durch die Drehung der Tasche kopfüber unmittelbar in das Zylinderinnere gekippt werden würde.

Zum Vergleich der beiden Taschenformen wurden in Darst. 31 beide so übereinander gezeichnet, daß der Auflagerpunkt des Kornes bei Hängelage zusammenfällt und beide Blechtafelebenen parallel liegen. Dabei zeigt sich, daß die Stelle des Taschengrundes, auf der sich das Ende des Langkornes stützt, bei der Trapeztasche höher liegt als bei der Halbkreistasche. Dadurch kommt bei der Trapeztasche der in der Zeichnung angedeutete Schwerpunkt höher zu liegen, und das Korn muß bei ihr eher auskippen als bei der Halbkreistasche, nach dem Beispiel der Zeichnung schon bei $i = 27°$ statt bei $i = 12°$.

In Patent- und Werbeschriften wie auch hier und da in der Literatur wird von einem Klemmen oder Ecken der Langkörner insbesondere in der Halbkreistasche im Gegensatz zur Trapestasche gesprochen. In der Tat ist dies bei der Halbkreistasche dann der

Fall, wenn das Korn seiner Länge nach gerade noch in die Tasche hineinpaßt. Nicht aber ist dies so zu verstehen, als ob die gegenüberliegende Taschenkante das Korn am Auskippen behindert. Denn bei allen Lagen kann das Korn bei beiden Taschenformen frei um einen seiner Auflagerpunkte schwenken, ohne mit der Taschenwand in Berührung zu kommen, wie dies in Darst. 31 durch den Kreisbogen um den Auflagerpunkt angedeutet ist.

§ 6.

Auswurfbedingungen für Rundkorn.

Das Kurzkorn besteht in erster Linie aus Kugeln von über über 2 bis zu 3,5 oder höchstens auch 4 mm Durchmesser (siehe § 1). Diese haben in der Tasche von 5 mm Durchmesser oder mehr eine gewisse Bewegungsfreiheit. Solange die Resultierende Z noch unter dem Winkel i nach auswärts gerichtet ist, wird sich das Rundkorn gemäß der Darst. 32 oben einstellen. Und zwar wird es bei der Trapeztasche von $i = 90^0$ bis $i = 0^0$ in der Ecke festliegen.

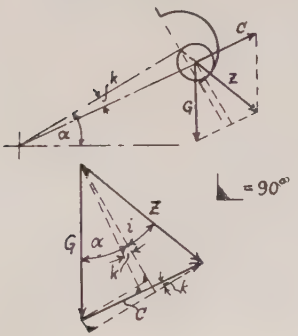
Bei der Halbkreistasche dagegen wandert es, wenn in erster Annäherung geometrische Halbkreis- und Kugelform sowie Reibungslosigkeit angenommen werden, mit der Resultierenden Z herum und bleibt hinter dem Winkelwege α der Tasche um den jeweiligen Winkel k zurück.

Aus den Formeln in Darst. 32 ergibt sich der Einfluß des Winkels k auf den Winkel i. Der Winkel k erreicht bei α_0 seinen Höchstwert k_0. Um den Einfluß von k zu prüfen, sei seine Größe unter möglichst ungünstigen Verhältnissen nachgerechnet. Solche sind offenbar gegeben, wenn der Zylinderdurchmesser sehr klein, z. B. 0,4 m, die Tasche sehr groß, z. B. 7 mm Lochung, und das Korn sehr klein, z. B. 2 mm, angenommen werden. Denn dann ergibt sich die Kathete r recht groß im Verhältnis zur Kathete R. Das Verhältnis beider errechnet sich als

$$\operatorname{tg} k_0 = \frac{r}{R} = \frac{2{,}5}{200} = 0{,}0125\,.$$

Daraus ergibt sich k_0 in diesem sehr ungünstigen Falle mit $0{,}716^0$ oder $\cos k_0$ mit 0,999 922. Bei den Unterschieden der wirklichen Rundkörner in bezug auf Rauhigkeit, Behaarung, Abplattung, Runzelung usw. wäre es sinnlos, wenn man den unwesentlichen Einfluß von k bei den theoretischen Überlegungen noch weiter berücksichtigen wollte.

Halbkreistasche.

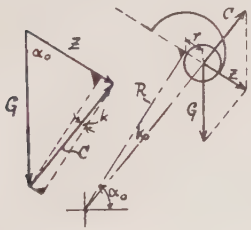


Durch Bildung rechtwinkliger Hilfsdreiecke erhält man:

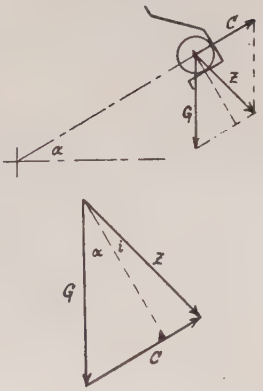
$$\operatorname{tg} i = \frac{C \cos k - G \sin \alpha}{G \cos \alpha + C \sin k}$$

$$i = 0; \quad \text{Nenner} \neq 0$$

$$\sin \alpha_0 = \frac{C}{G} \cos k_0 = K \cos k_0$$



Trapeztasche.



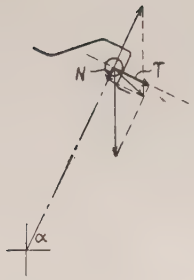
$$\operatorname{tg} i = \frac{C - G \sin \alpha}{G \cos \alpha}$$

$$i = 0; \quad \text{Nenner} \neq 0$$

$$\sin \alpha_0 = K$$

Darstellung 32. Skizzen zum Ausfall von Rundkorn.

Ebenso kann die Abnahme der Zentrifugalkraft, die durch die Einwärtsbewegung des Kornes bedingt ist, vernachlässigt werden. Denn die Lochtiefe von höchstens 3 mm ergibt selbst bei kleinen Trieuren von z. B. 0,4 m Durchmesser eine Radiendifferenz von nur 1,5% als größten auftretenden Fehler. Auch wenn sich also die Vernachlässigung des Winkels k und der Verminderung von C addieren, würde $\sin \alpha_0$ z. B. statt 0,6 nur 0,594 sein, α_0 also nur 36,44° statt 36,87°. Ein solcher Unterschied ist gegenüber der wesentlich größeren Streuung in der Wirklichkeit ganz unbedeutend.



$$N = G \sin\alpha - C = \frac{G}{g} q; \quad q = \text{Radialbeschleunigung}$$

$$q = g(\sin\alpha - K)$$

$$v = \int q \, dt; \quad w = \frac{d\alpha}{dt}; \quad dt = \frac{d\alpha}{w}$$

$$= \frac{g}{w} \int_{\alpha_0}^{\alpha} (\sin\alpha - K) \, d\alpha; \quad K = \frac{R w^2}{g}; \quad \frac{g}{w} = \sqrt{\frac{g}{K}} \cdot \sqrt{R}$$

$$\frac{v}{\sqrt{R}} = \sqrt{\frac{g}{K}} \left[(\cos\alpha_0 + K\alpha_0) - (\cos\alpha + K\alpha) \right]; \quad \cos\alpha_0 + K\alpha_0 = J_1$$

$$s = \int v \, dt = \frac{1}{w} \int v \, d\alpha = \frac{g}{w^2} \int_{\alpha_0}^{\alpha} (J_1 - \cos\alpha - K\alpha) \, d\alpha$$

$$\frac{s}{R} = \frac{1}{R} \left(J_2 + J_1 \alpha - \sin\alpha - \frac{K}{2} \alpha^2 \right)$$

$$\text{wo } J_2 = -J_1 \alpha_0 + \sin\alpha_0 + \frac{K}{2} \alpha_0^2$$

$$= K \left(1 - \frac{\alpha_0^2}{2} \right) - \alpha_0 \cos\alpha_0$$

Numerische Integration von $\frac{v}{\sqrt{R}} = F(\alpha)$ ergibt $\int \frac{v}{\sqrt{R}} \, d\alpha$

$$\text{Nun ist } s = \frac{1}{w} \int v \, d\alpha = \frac{\sqrt{R}}{w} \int \frac{v}{\sqrt{R}} \, d\alpha = \frac{R}{\sqrt{Kg}} \int \frac{v}{\sqrt{R}} \, d\alpha$$

$$\text{Also } \frac{s}{R} = \frac{1}{\sqrt{Kg}} \int \frac{v}{\sqrt{R}} \, d\alpha .$$

Darstellung 33. Berechnung des Weges eines Rundkornes an der Wand der Trapeztasche.

Es kann also das Verhalten des Kornes relativ zum Raume der Tasche mit weitaus genügender Genauigkeit berechnet werden, wenn man nur den Einfluß derjenigen Kraft Z prüft, deren Größe und Richtung durch die früher abgeleiteten Beziehungen gegeben ist.

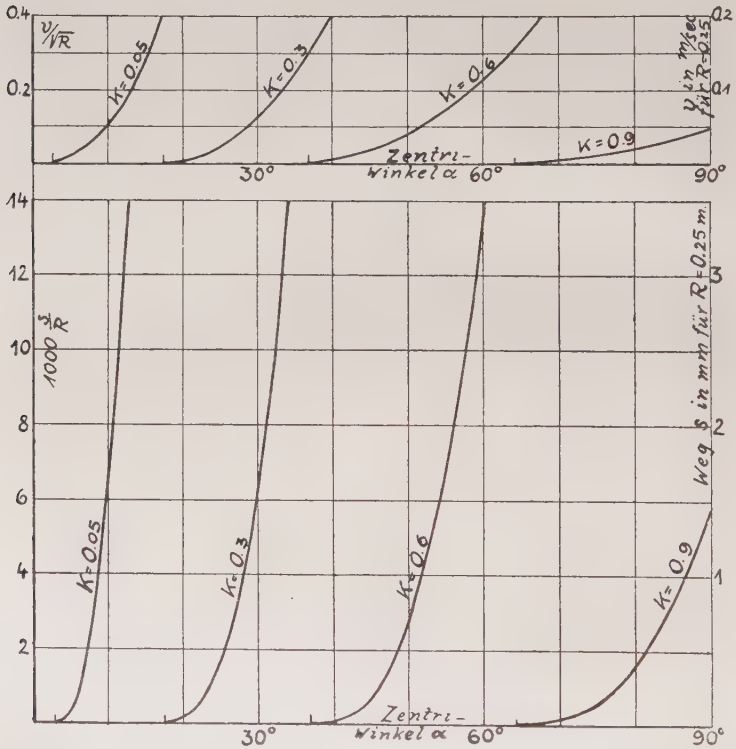
Schon die bloße Überlegung zeigt, daß in dem Augenblicke, wo die Resultierende tangential liegt, der Winkel i also Null geworden ist, das Rundkorn bei der Trapeztasche noch in seiner Ecke festliegt, während es bei der Halbkreistasche bereits gerade vor dem Ausfallen auf der Kante steht (Darst. 32), wobei es auch schon eine einwärts gerichtete Eigengeschwindigkeit besitzt.

Wenn die Unkrautkugel in erster Annäherung als masselos und reibungsfrei der Wirkung der Resultierenden unterworfen angesehen wird, so muß ihre Winkelgeschwindigkeit im Raume der Halbkreistasche gleich der Schwenkgeschwindigkeit der Kraft Z sein, die aus Darst. 27 zu entnehmen ist. Aus dieser Darstellung ergibt sich, daß in der Nähe des Ausfalles die Winkelgeschwindigkeit von Z annähernd gleich der Drehgeschwindigkeit des Trieurs ist. Der Bahnradius der Unkrautkugel mit etwa 3 mm im Raume der Tasche ergibt also im Augenblick des Ausfalles (Darst. 32 unten) eine Eigengeschwindigkeit von $2 \cdot 0{,}003\, \pi\, n \frac{1}{60} = \frac{\pi\, n}{10\,000}$. Bei $n = 64$, einer auch für Hochleister recht hohen Drehzahl, wird dann die Radialgeschwindigkeit des Kornes 0,02 m/sec.

Auch in der Trapeztasche wird das Rundkorn durch die sich einwärts neigende Resultierende Z zur Taschenkante gerollt. Die dadurch an der Taschenkante entstehende Geschwindigkeit sei untersucht. Wird in guter Annäherung angenommen, daß der Schwerpunkt der Kugel an der Taschenwand gerade radial geführt wird, so ist das Korn einer einwärts wirkenden Kraft N unterworfen, die nebst der von ihr erzeugten Beschleunigung in Darst. 33 berechnet wird. Dort wird auch aus dieser Beschleunigung die Geschwindigkeit und aus dieser wieder der Weg des Kornes integriert. Der Weg wurde übrigens bei der numerischen Berechnung nicht aus der Integrationsformel, sondern aus den Tabellenwerten für die Geschwindigkeitskurve berechnet, was einer graphischen Integration gleichkommt. Dementsprechend mußte der Maßstab der Wegkurve in Darst. 33 unten berechnet werden.

Führt man in dieser Weise für die Werte 0,05, 0,3, 0,6 und 0,9 von K die Zahlenrechnung durch, so ergeben sich die in Darst. 34 und 35 wiedergegebenen Kurven. Aus diesen Darstellungen kann

man also entnehmen, welchen Winkelweg der Trieurzylinder zurücklegt, bis das Korn vom Boden der Tasche bis an die Kante gelangt ist, und welche Geschwindigkeit es in diesem Punkte erreicht. Auf der rechten Seite von Darst. 34 ist z. B. die Geschwindig-



Darstellung 34 und 35. Geschwindigkeit und Weg einer Kugel an der Wand der Trapeztasche (theoretisch).

keit in m/sec und der Weg in mm für einen Zylinderradius R = 0,25 m maßstäblich zu den Kurven angegeben. Rechnet man z. B. bei einer Taschentiefe von 3 mm und einem Korn von 2 mm Durchmesser mit 2 mm Weg des Kornes bis zur Taschenkante, so ergeben die Kurven, daß das Korn bei K = 0,05 erst 8°, bei 0,3 erst 14° und bei 0,6 erst 19° nach α_0 auszufallen beginnt. Während

dieses Winkelweges des Trieurs erreicht es eine radiale Geschwindigkeit von 0,06 bis 0,08 m/sec.

Das Rundkorn hat also bei beiden Taschenformen im Augenblick des Ausfalles nicht nur eine tangentiale, sondern auch eine radiale Geschwindigkeit. Diese beträgt, wenn man für die Umfangsgeschwindigkeit eine Größenordnung von 1 m/sec annimmt, bei der Halbkreistasche 2%, bei der Trapeztasche etwa 8%. Wollte man die Wurfparabel des Rundkornes also genau vorausberechnen, so müßte diese Geschwindigkeitskomponente berücksichtigt werden, wie auch eine mögliche Störung der Kornbahn durch die hinterher kommende Taschenkante zu beachten wäre.

§ 7
Die Versuche.

Der experimentellen Nachprüfung vorstehender rechnungsmäßiger Entwicklungen steht die schwierige Sichtbarkeit der Vorgänge im Wege. Im Trieurzylinder Beobachtungen anzustellen, ist wegen der schwierigen Beleuchtung und wegen der gegenseitigen Verdeckung der Körner, abgesehen von der auch bei Absaugung stark störenden Staubentwicklung, nahezu unmöglich. Es wurde daher je ein kurzes Ringstück eines Trieurzylinders mit Halbkreis- und Trapeztaschen benutzt. Der Durchmesser der Ringe war 305 mm im Lichten und die Lochung 5 mm.

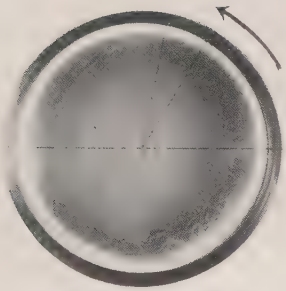
Bei den hohen Geschwindigkeiten von 0,28 bis 1,2 m/sec wäre die genügend scharfe photographische Abbildung momentaner Zustände nur mit einer Zeitlupe möglich, die ganz extrem kurze Belichtungszeiten zuläßt. Eine derartige Einrichtung kam hier wegen der erheblichen Kosten auch leihweise nicht in Frage.

Es wurden wohl Versuche zur Gewinnung von Zeitlupenaufnahmen gemacht, wie sie Zödler (Q 16) bei der Untersuchung des Aussaatvorganges an Drillmaschinen mit allerdings wesentlich geringerer Korngeschwindigkeit und auch geringeren Ansprüchen an die Deutlichkeit erfolgreich benutzt hat. Trotzdem aber der Schlitz der Blende des Kinoaufnahmeapparates, der normalerweise 100° einnimmt, nicht nur, wie von Zödler, auf 30°, sondern auf 11,5° vermindert worden war, wodurch bei recht schneller Derehung Belichtungszeiten von $^1/_{1000}$ Sekunde und weniger erreicht wurden, boten die Bilder nicht die für einige Fragen wünschenswerte Deutlichkeit. Denn der Weg der Tasche ist auch bei kleinstem K mit 0,28 m/sec in $^1/_{1000}$ sec schon so groß,

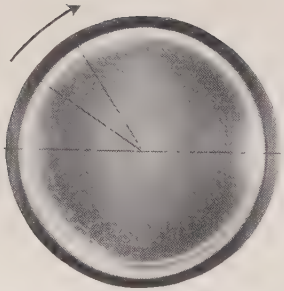
daß sie selbst und ihr Inhalt auch auf hochempfindlichem Feinkornfilm nicht mehr zu erkennen ist und nur als verschwommener Fleck erscheint. Nach längeren Versuchen ergab sich die Dauerbelichtung des Bewegungsvorganges als ein Weg, der recht befriedigende Aufschlüsse bot. Um eine gute photographische Wirkung der Körner zu erzielen, wurden diese mit Silberbronze präpariert und der Hintergrund, d. h. die den Trieurring tragende Scheibe mit schwarzem Papier beklebt. Die Beleuchtung gaben zwei Traut-Maxima-Bogenlichtlampen von je 1000 Watt her. Es wurde mit einem Zeiß-Tessar 1:4,5 von 135 mm Brennweite auf hochempfindliche Filme im Format 9×12 mit $^1/_{10}$ Sekunde Belichtungszeit photographiert. Dabei zeichnen die Körner ihre Bahn im Raume des Zylinders im Bilde als Line auf. Die Größe der Abbildung gestattet, bei gleichachsiger Anordnung von Optik der Kamera und Trieurzylinder ein Ausmessen der verschiedenen Zonen. Darst. 36—39 zeigen Beispiele von solchen Aufnahmen.

Da bei dieser Abbildung nur die Bahn des Kornes, nicht jedoch seine Form zu erkennen ist, mußten die Versuche mit Langkorn und mit Kurzkorn getrennt vorgenommen werden. Aus der Flugparabel läßt sich der Anfangspunkt extrapolieren. Das Ergebnis der Ausmessungen der Photographien ist in der Darst. 40 in Schaulinien aufgetragen, indem diejenigen Winkelgrade α in Funktion der Drehzahl aufgetragen wurden, bei denen eine bemerkenswerte Zonengrenze aus den Bildern zu ersehen war. Die bei der Extrapolation unvermeidliche Schätzung bringt es mit sich, daß die Lage der Versuchspunkte eine gewisse Streuung zeigt. Doch ist diese gering genug, um das Gesetzmäßige dazwischen zu finden.

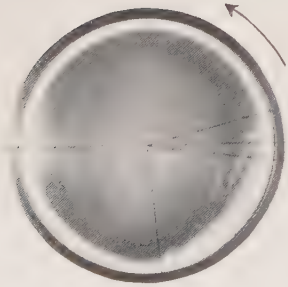
So erkennt man etwa zwischen -20^0 und -80^0 ein Gebiet, das die Lage des Kornpolsters angibt. Aus diesem Polster werden nun von den Taschen auch lange Körner mit hochgenommen, aber bald wieder ausgekippt. Die strichpunktierte Linie gibt die theoretischen α_0 an, für die $\sin \alpha_0 = K$ und $i = 0$ ist. Etwa 25^0 unter dieser Linie ist die ungefähre Grenze, bei der die Trapeztasche ihre langen Körner auskippt, während sich die Halbkreistasche erst etwa 15^0 vor α_0 der langen Körner entledigt. Und schon wenige Winkelgrade weiter, etwa 7^0 vor α_0, beginnt die Hauptmenge der runden Körner die Halbkreistasche zu verlassen. Es sei hier bemerkt, daß diese Grenze am schwersten zu erkennen war, weil die Streuung der Halbkreistasche so groß ist, daß überall zwischen dem Kornpolster und dem Hauptausfall der Rundkörner Ausfälle zu beobachten sind. Immerhin läßt sich eine Zone dichterer Ausfallgarben



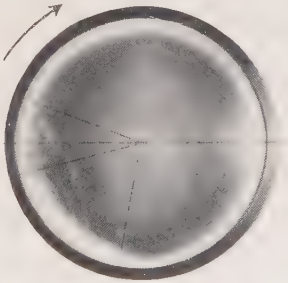
Darst. 36.
Rundkorn in der Trapeztasche.



Darst. 37.
Rundkorn in der Halbkreistasche.



Darst. 38.
Roggen in der Trapeztasche.

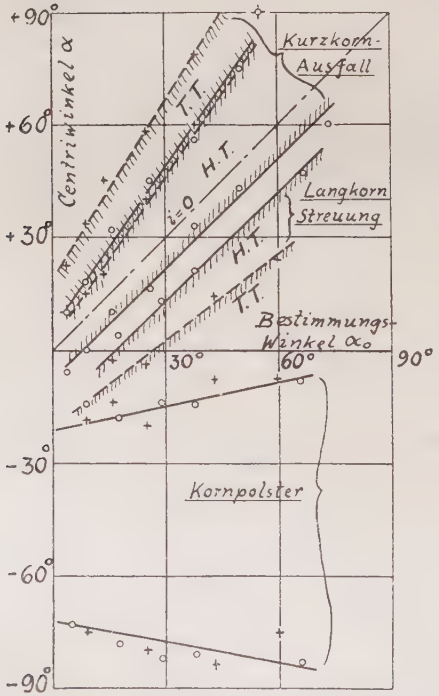


Darst. 39.
Roggen in der Halbkreistasche.

Darstellung 36—39. Photographien von Körner-Flugbahnen: $n = 60$.

Scheitel hinzieht. Die dort ausgeworfenen Körner werden aber nicht mehr mit Sicherheit von der Unkrautmulde abgefangen, wie früher am Verlauf der Parabel nachgewiesen wurde. Darin liegt die Begründung, warum die Trieurfabriken den Wert K = 0,6 schwerlich nennenswert überschreiten können.

Als Hauptergebnis der Versuche zeigt sich zunächst, daß die dynamische Kennziffer K nicht nur theoretisch, sondern auch am wirklichen Trieur die Entleerungsvorgänge der Taschen beherrscht. Das bedeutet aber, daß die hier ermittelten Winkelzonen ihrer Lage nach auf Trieure beliebigen Durchmessers über-



Darstellung 41. Zonen am Trieur verallgemeinert.

tragen werden können. Man kann daher die Darst. 40 in die Darst. 41 umformen, in der die Zonen nicht in Funktion der nur für den untersuchten Trieur zutreffenden Drehzahl, sondern in

Funktion von $\alpha_0 = \text{arc sin } K$ aufgezeichnet sind. Als Abszissenmaßstab wurde α_0 statt K gewählt, weil dann die Darstellung übersichtlicher wird, indem die Kennlinie der Punkte mit $i = 0$ als Gerade erscheint und auch die anderen Kennlinien in guter Übereinstimmung mit der Lage der Versuchspunkte als Geraden gezeichnet werden können.

Wenn von einer Übertragbarkeit der vorliegenden Versuchsergebnisse auf andere Zylindertrieure gesprochen wurde, wird man dabei einen Spielraum der Winkelwerte vorbehalten müssen. Ein solcher läßt sich nicht nur aus der Streuung der Versuchspunkte begründen, sondern kann seine Ursache auch in Abweichungen der Zellenformen und -winkel bei verschiedenen Blechkrümmungen haben, abgesehen von den biologischen Verschiedenheiten eines anderes Sortiergutes.

In gleicher Weise bedingen diese Ursachen auch die Abweichungen der wirklichen Winkelwerte von den theoretisch errechneten, welche ja geometrisch genaue und vereinfachte Formen als Grundlage haben. Wenn man den Spielraum der Winkelwerte abzuschätzen sucht, wird man mit 5—10° wohl die richtige Größenordnung treffen. Ein solcher Spielraum rechtfertigt es, wenn bei den theoretischen Entwicklungen Einflüsse, die eine Änderung der charakteristischen Winkel bis 1 oder 2° bedingen, nur ihrer Art nach gewürdigt, nicht aber rechnungsmäßig bis in einzelne verfolgt wurden.

§ 8.

Besprechung der Versuchsergebnisse.

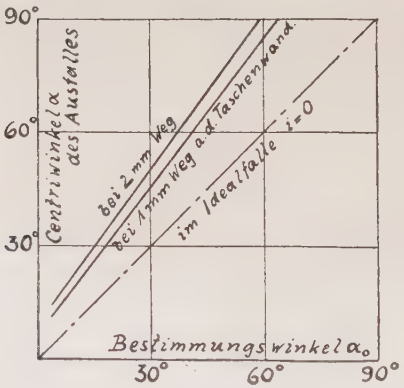
Unter Berücksichtigung der Ausführungen am Schlusse des vorigen Kapitels läßt sich nunmehr die Auswirkung der früher theoretisch erörterten Einflüsse in der Wirklichkeit nachprüfen.

Zunächst zeigt sich, daß sich die Lage des Kornpolsters in dem hier in Frage kommenden Drehzahlbereich nur wenig ändert. Das Polster wird bei steigender Drehzahl nur etwas mehr in die Länge gezogen, da einem weiteren Hochreißen der Körner auch ein stärkeres Werfen und Spritzen nach der tiefsten Stelle des Zylinders entspricht. Übrigens sei im Gegensatz zu vielfach geäußerten anderen Ansichten bemerkt, daß auch bei ganz geringen Füllungen, wenn kein auflagerndes Polster die Körner am Tanzen hinderte, ein Besetzen der Taschen erfolgt.

Für das Auskippen des Langkornes gilt vor allem das, was im vorigen Kapitel über die unbefriedigende Schärfe der photo-

graphischen Abbildung gesagt war. Aber wenn sich auch die Einlagerung des Langkornes der genauen Betrachtung entzieht, bestätigt doch das Ergebnis die früher an Hand von Vorversuchen angestellten Überlegungen. Tatsächlich fallen die am weitesten hochkommenden Langkörner aus der Halbkreistasche etwa 18° vor α_0, aus der Trapeztasche dagegen schon 25—35° vor α_0 aus. Die scheinbare Zunahme des Abstandes des Langkornausfalles vom Bestimmungswinkel α_0 dürfte in Wirklichkeit nicht bestehen, sondern durch die zufällige Lage der infolge hier schwieriger Ablesung stärker streuenden Versuchspunkte vorgetäuscht sein.

Für die Betrachtung des Ausfalles des Rundkornes ist das theoretische Rüstzeug wesentlich vollständiger. Wenn das Rundkorn aus der Halbkreistasche schon 8° vor α_0 ausfällt, so liegt dies daran, daß die gefrästen Halbkreistaschen nicht immer Halbkugeln sind, sondern Kugelabschnitte, deren Schnittebenen allerdings nahe dem Mittelpunkte liegen. Leicht können die Bohrer um 0,35 mm hinter der theoretischen Eindringtiefe zurückbleiben, woraus sich bei 5 mm Lochung schon geometrisch ein Vorausfall von 8° ergibt, abgesehen von etwaiger Abnutzung des Bohrers.



Darstellung 42. Theoretisch errechneter Nachausfall in einem Trieur 305 mm ∅ mit Trapeztaschen.

Für die Trapeztasche läßt sich der Ausfallwinkel des Rundkornes aus Darst. 35 berechnen. Entnimmt man diesen für einen Weg an der Taschenwand von 1 und 2 mm unter Berücksichtigung des Trieurdurchmessers von 305 mm, so ergeben sich die Kennlinien der Darst. 42. Diese erscheinen in dem hier betrachteten Bereiche

als gerade Linien und sind in Wirklichkeit Stücke einer S-förmigen, im Nullpunkt beginnenden Kurve, die aber in diesem Bereiche von der Geraden nur unwesentlich abweicht.

Vergleicht man diese theoretischen Kennlinien der Darst. 42 mit den entsprechenden der Darst. 41 nach den Versuchsergebnissen, so ergibt sich eine auf etwa 3° genaue Übereinstimmung.

Wie beim Langkorn kommt es im Interesse der Trennung von Lang- und Kurzkorn auch bei letzterem vor allem auf die soeben besprochenen, nach der Trennzone zu liegenden Grenzwinkel an. Es ist ein unzweifelhafter Vorteil der Trapeztasche, daß bei ihr diese Grenzen wesentlich weiter auseinanderliegen (30 bis 60°) als bei der Halbkreistasche (8°).

Vom Beginn des Rundkornauswurfes ab erstreckt sich nun die Streuzone. Sie entsteht durch die mehrfach erläuterte Abweichung der Kurzkörner von der Kugelform, indem unrunde Körner nicht rollen, sondern gleiten.

Bei der Halbkreistasche wird also infolge des Reibungswiderstandes das unrunde Kurzkorn nicht der Schwenkung der resultierenden Kraft Z unmittelbar folgen, sondern infolge der Reibung zunächst an seinem Orte verharren. Erst wenn die Kraft Z aus dem Reibungswinkel heraustritt, kommt es in Bewegung und muß nun, während die Tasche weiterwandert, allmählich beschleunigt werden, grundsätzlich ähnlich, wie es für das Kugelkorn in der Trapeztasche rechnerisch verfolgt wurde.

Auch hier kommt bei höherem K das Korn langsamer in Bewegung, weil die beschleunigende Kraft Z mit zunehmender Drehzahl sehr stark abfällt (Darst. 23), erst recht also seine in der Bewegungsrichtung des rutschenden Kornes liegende Komponente. Daß diese Komponente sich mit zunehmender Drehzahl schneller der Größe der Kraft Z selbst nähert, indem ihre Schwenkgeschwindigkeit (Darst. 27) bei höherem K mehr zunimmt, ergibt sich als von geringerem Einfluß. Daraus erklärt sich, daß die Streuzone des Kurzkornes bei der Halbkreistasche mit zunehmendem K einen immer größeren Zentriwinkel umfaßt.

Bei der Trapeztasche ist nicht nur das unrunde Korn, sondern auch schon das kuglige Korn eben diesen Verhältnissen unterworfen. Daher entfernen sich beide Grenzen der Streuzone von der Linie $i = 0$ und laufen in nur wenig verändertem Abstande nebeneinander her.

Wenn auch die Streuzone des Kurzkornes bei der Trapeztasche schmaler ist als bei der Halbkreistasche, so liegt sie doch höher im Zylinder, kommt also schon bei kleinerem K in die Nähe

des Scheitels, wo ein Auswurf zweifelhaft wird, d. h. die Trapeztasche läßt keine ganz so hohe Drehzahl zu wie die Halbkreistasche. Angesichts der übrigen wichtigen Vorteile kann man dies aber hinnehmen, zumal das mögliche Mehr an Drehzahl keine bedeutungsvolle Leistungssteigerung mehr bringen dürfte.

§ 9.

Zusammenfassung.

1. Kennzeichnend für den Arbeitszustand eines Zylindertrieurs ist die Zentrifugalbeschleunigung im Raume der Tasche oder das Verhältnis der Zentrifugalbeschleunigung zur Erdbeschleunigung, ausgedrückt durch die Größe

$$K = C/G = \sin \alpha_0 .$$

Sie verkörpert die Gesetzmäßigkeit des Verlaufes der am (in die Tasche eingelagerten) Korn wirkenden Aktionskräfte, aus denen je nach Größe und Form von Tasche und Korn die Richtung und Größe der Auflagerdrücke nebst Reibungskräften entsteht, die den Auskippbeginn bestimmen. Die Größe K ist die Froudesche Kennzahl für die dynamische Ähnlichkeit der Trieure verschiedener Durchmesser (S. 22 ff.).

2. Bei den früheren langsam laufenden Trieuren ist K mit etwa 0,05 oder α_0 rund 3^0 sehr klein, die dynamische Wirkung der Drehung also gering. Man kann sie daher unterscheidend als „statische" Trieure bezeichnen (S. 8).

3. Die herkömmliche Anschauung, daß die Leistungsfähigkeit eines Trieurs proportional seiner Arbeitsfläche sei, genügt bei den übereinstimmend gebauten statischen Trieuren den Anforderungen der Praxis an eine Faustformel, darf aber nicht als allgemeingültige Regel angesehen werden (S. 17).

4. Im Gegensatz zur herkömmlichen halbkugelförmigen Tasche, in vorliegendem Halbkreistasche genannt, steht die neuere Trapeztasche, deren wichtigstes äußeres Merkmal die Abkehr vom Rotationskörper ist (S. 6).

5. Durch lebhafte Relativbewegung der Körner in einer Richtung wird der Bewegungswiderstand in der dazu senkrechten Richtung so herabgesetzt, daß die Bewegung in der letzteren Richtung sinngemäß mit einer Flüssigkeitsströmung verglichen werden kann (S. 20).

6. Die obere Drehzahlgrenze für Trieure liegt nicht bei $K = 1$, sondern niedriger, weil ein großer Teil des Kurzkornes, wenn nicht, wie bei der Trapeztasche, sämtliches Kurzkorn erheblich später ausfällt, als das Einschwenken von Z in das Zylinderinnere erfolgt (S. 24 und 40).

7. Im Durchschnitt laufen die heutigen Hochleistungs-Zylindertrieure mit $K = 0{,}6$ (S. 24).

8. Die am weitesten hochgenommenen Langkörner sind solche, die sich in Hängelage in der Tasche eingelagert haben (S. 31).

9. Die Trapeztasche beendet das Auskippen von Langkorn schon bei geringerer Neigung als die Halbkreistasche, weil sie an der inneren Auflagerstelle des Kornes flacher ist als jene und daher der Kornschwerpunkt weiter außerhalb der Tasche zu liegen kommt (S. 31).

10. Das Rundkorn fällt bei der Trapeztasche um vieles später aus als bei der Halbkreistasche, weil es bei α_0 noch an der tiefsten Stelle der Tasche liegt und erst allmählich beschleunigt werden muß, wobei es mit größer werdendem K wegen der starken Abnahme der beschleunigenden Kraft Z einen um so größeren Winkelweg der Tasche zum Herausrollen (oder bei unrunden Körnern zum Herausrutschen) benötigt (S. 42).

11. Die Grenzen der Austragzonen von Langkorn und Rundkorn liegen bei der Halbkreistasche nahe beieinander und um einen gleichbleibenden Winkel vor α_0 (S. 43).

12. Bei der Trapeztasche liegen die Austragzonen von Lang- und Rundkorn weit auseinander, und zwar um so weiter, je größer K ist (S. 43).

Quellenverzeichnis.

Q 1: Wittmack: Landwirtschaftliche Samenkunde. Berlin 1930 (Parey).

Q 2: Meyer-Hohenheim, Hauptprüfung von Saatgutreinigungsanlagen für Kraftbetrieb. Berlin 1926 (Arbeiten der D.L.G. Heft 333).

Q 3: Perels, Handbuch des landw. Maschinenwesens. 2. Bd. Jena 1880 (Costenoble).

Q 4: Instruments agricoles, machines, appareils et outils. Paris 1858 (Bouchard-Huzard).

Q 5: Perels, Ratgeber bei Wahl und Gebrauch landw. Geräte und Maschinen. Berlin 1872 (Wiegandt und Hampel).

Q 6: Mangon, Traité de génie rural. Teil 3: Travaux, instruments et machines agricoles. Paris 1875 (Dunod).

Q 7: Maschinen-Praxis 1913 Nr. 46.

Q 8: Rühlmann, Allgemeine Maschinenlehre. Leipzig 1880 (Baumgärtner).

Q 9: Fritz, Handbuch der landw. Maschinen. Berlin 1880 (Wiegandt, Hampel und Parey).

Q 10: W. E. Fischer, Untersuchungen am Scheibentrieur. Fortschritte der Landwirtschaft 1930 Nr. 23.

Q 11: Baumgartner, Lehr- und Handbuch für Müllerei und Mühlenbau. Leipzig 1930 (Schäfer).

Q 12: Rauh, Der gegenwärtige Stand der Entwicklung der Hochleistungstrieure. Technik i. d. Landw. 1927 Nr. 8.

Q 13: Mentzel u. Lengerke, Landw. Hülfs- und Schreibkalender. Berlin 1930 (Parey).

Q 14: Wansart, Beiträge zur Kenntnis der Wirkungsweise und des arbeitstechnischen Wirkungsgrades von Saatgut-Trockenbeizmaschinen. Berlin 1930 (Beuth-Verlag, Heft 15 der RKTL-Schriften).

Q 15: Deutsche Landw. Gesellschaft, Sonderverzeichnis der Prüfungsgeräte der 37. Wanderausstellung in Hannover 1931.

Q 16: Herrmann, Über die Bedingungen für dynamische Ähnlichkeit. VDI 1931 Nr. 20.

Q 17: Zödler, Leimstreifenauswertungsmethoden und Leimstreifenversuche an Drillmaschinen. Breslau 1930, Diss.

Ferner wurden benutzt:

Kuczynski, Deutschlands Versorgung mit Nahrungs- und Futtermitteln. 2. Teil: Pflanzliche Nahrungs- und Futtermittel. Berlin 1926 (Springer).

Wollny, Saat und Pflege der landw. Kulturpflanzen. Berlin 1885 (Parey).
W. Fischer-Landsberg, Samengewinnung und Saatgutbereitung bei den wichtigsten Klee- und Grasarten. Berlin 1928 (Schlegel).
Kozmin, Flour milling. London 1917 (Routledge & Sons).
Polietajew, Grundlagen der Trieurkonstruktion und die Methode ihrer Berechnung. (Russisch.) Landw. Maschine, Moskau 1930 Nr. 3/4 und 6.
Föppl, Vorlesungen über technische Mechanik.

Sowie zahlreiche Aufsätze und Berichte aus den Zeitschriften „Die Mühle", „Die Technik i. d. Landw.", „Mitt. d. Verbandes landw. Maschinen-Prüfungsanstalten" u. a.

Lebenslauf.

Der Verfasser, Dipl.-Ing. Friedrich Alfred Rudolf Gerdes, wurde am 10. Januar 1898 als Sohn des Zivilingenieurs A. F. Gerdes und seiner Ehefrau Klara geb. Maurer als oldenburgischer Staatsangehöriger geboren.

Von Ostern 1904 bis Ostern 1916 besuchte ich das Kgl. Kaiser-Wilhelms-Realgymnasium zu Berlin bis zur Reifeprüfung. Hiernach war ich bis Oktober 1916 als Praktikant im Maschinenbau der Siemens-Schuckert-Werke in Berlin-Siemensstadt tätig. Nach vorübergehender Einziehung zum Garnisondienst von November 1916 bis Februar 1917 arbeitete ich von März 1917 bis November 1918 als Konstrukteur für Schießpulver-Fabrikationsmaschinen im Dienste der Vereinigten Köln-Rottweiler Pulverfabriken und der väterlichen Firma. Nach Kriegsende bezog ich die Technische Hochschule zu Berlin, auf der ich im Juli 1922 die Diplom-Hauptprüfung mit dem Zeugnis „gut bestanden" ablegte. Bereits als Studierender war ich im September 1921 Assistent am Maschinentechnischen Institut der Landwirtschaftlichen Hochschule zu Berlin bei Herrn Geheimrat Professor Dr. G. Fischer geworden. Von hier ging ich im August 1923 als Betriebsingenieur auf die Saatzuchtgüter der Familie von Lochow in Pettkus, Ziekau und Heinsdorf. Vom Januar 1924 bis März desselben Jahres war ich Konstrukteur und Betriebsleiter in der väterlichen Versuchswerkstatt und Fabrik für Kleinmaschinen und Apparatebau. Von hier ging ich im März 1924 als technischer Berater der Landmaschinen-Verkaufsabteilung zur Deutschen Werke A.-G. in Spandau. Im Aug. 1924 kehrte ich in die väterliche Firma zurück. Schließlich wurde ich im April 1925 Assistent am Landmaschineninstitut Breslau und Mitarbeiter der Maschinenberatungsstelle der Landwirtschaftskammer Niederschlesien. Während dieser Tätigkeit entstand auch die vorliegende Dissertation.

Breslau, den 15. Dezember 1931.